

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2002年 7月18日

出願番号
Application Number:

特願2002-209795

[ST.10/C]:

[JP2002-209795]

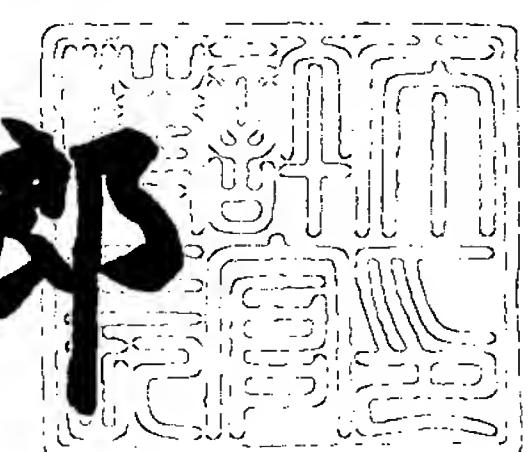
出願人
Applicant(s):

シャープ株式会社

2003年 5月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3035278

【書類名】 特許願

【整理番号】 179596

【提出日】 平成14年 7月18日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18
H01L 21/205

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

【氏名】 山本 圭

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内

【氏名】 大林 健

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 葵

【選任した代理人】

【識別番号】 100086405

【弁理士】

【氏名又は名称】 河宮 治

【選任した代理人】

【識別番号】 100084146

【弁理士】

【氏名又は名称】 山崎 宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208766

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ装置およびそれを用いた光ディスク装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaAs基板上に、少なくとも、下部クラッド層と、下部ガイド層と、1つまたは複数の井戸層とバリア層とが積層されて成る量子井戸を含む活性領域と、上部ガイド層と、上部クラッド層が形成された発振波長が760nmより大きく且つ800nmより小さい半導体レーザ装置において、

上記井戸層およびバリア層は、InGaP, InGaAsPあるいはGaAsPの何れかで構成され、

上記ガイド層は、 $Al_xGa_{1-x}As (0.20 < x \leq 1)$ で構成されていることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項2】 請求項1に記載の半導体レーザ装置において、

上記ガイド層のIII族元素中におけるAlの組成比を表わす上記xの値は0.25よりも大きいことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項3】 請求項1あるいは請求項2に記載の半導体レーザ装置において、

上記下部クラッド層および上部クラッド層は、Alを含んで構成されており、上記xの値は、上記下部クラッド層および上部クラッド層のAlの組成比の値よりも小さいことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項4】 請求項3に記載の半導体レーザ装置において、

上記xの値は、段階的にあるいは連続的に、且つ、上記下部クラッド層および上部クラッド層に近づく程大きくなるように、変化していることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4の何れか一つに記載の半導体レーザ装置において、

上記ガイド層における少なくともバリア層に接している部分の上記xの値は、0.4よりも小さいことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5の何れか一つに記載の半導体レーザ装置において、

上記井戸層は、圧縮歪を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項7】 請求項1乃至請求項6の何れか一つに記載の半導体レーザ装置において、

上記バリア層は、引張歪を有することを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項8】 請求項1乃至請求項7の何れか一つに記載の半導体レーザ装置を、発光装置として用いたことを特徴とする光ディスク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、活性領域にAlを含まない発振波長780nm帯(760nmより大きく800nmより小さい)の半導体レーザ装置、および、その半導体レーザ装置を用いた光ディスク装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

CD(コンパクトディスク)やMD(ミニディスク)等のディスクを再生するための半導体レーザ装置として、780nm帯の半導体レーザ装置が広く使用されている。その中でも、高速書き込み可能なCD-R(CD recordable)用の半導体レーザ装置として、120mW以上の高出力でも信頼性の高い半導体レーザ装置が強く望まれている。

【0003】

ところで、井戸層/バリア層にAlが入っている従来のAlGaAs量子井戸構造の場合には、特に高温、高出力時における信頼性が低下するという問題がある。これは、Alが活性な物質であるために酸素等の微量の不純物とも反応してしまい、材料の劣化を増幅してしまう為と考えられている。それに対抗する1つの方法として、上記井戸層/バリア層にAlが入っていない構造にすることによって、高出力、高信頼性を実現することが考えられる。しかしながら、実際には、780nm帯において、120mW以上の高出力で十分な信頼性を有する半導体レーザ装置は未だ出現していない。

【0004】

上記井戸層/バリア層にAlが入っていない構造の発振波長810nmの半導体レーザ装置として、特開平11-220244号公報、および、Japanese Journal of Applied Physics Vol.38(1999)pp. L387-L389に開示されているようなものが提案されている。そこで、この従来の技術に基づいて、780nmで発振する半導体レーザ装置を作成してみた。

【0005】

図12は、上記井戸層/バリア層にAlが入っていないInGaAsP系量子井戸構造の半導体レーザ装置を示す構造図である。また、図13は、図12に示す半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギー・バンドギャップ(Eg)のダイアグラムを示す。

【0006】

図12において、1はn型GaAs基板、2はn型Al_{0.63}Ga_{0.37}As下部クラッド層、3はIn_{0.484}Ga_{0.516}P下部ガイド層、4は活性領域である。ここで、活性領域4は、バリア層5と井戸層6とから成る二重量子井戸(DQW)構造を有している。また、7はIn_{0.484}Ga_{0.516}P上部ガイド層、8はp型のAl_{0.63}Ga_{0.37}As上部クラッド層、9はp型のGaAs保護層、10はSiO₂電流ブロック層、11はn側電極、12はp側電極である。バリア層5は、In_{0.4}Ga_{0.6}Pで構成され、歪は引張歪-0.62%で、層厚は5a, 5cが8nmであり5bが7nmである。尚、In_{0.4}Ga_{0.6}PのEgは、歪を考慮しない場合は2.02eV程度と算出されるが、引張歪による影響によって1.93eV~1.96eV程度になると考えられる。井戸層6は、In_{0.162}Ga_{0.838}As_{0.671}P_{0.329}で構成されており、Egは1.57eVで、基板と格子整合しており、層厚は6a, 6b共に5nmである。また、AlGaAs上部クラッド層8は、リッジストライプ構造を有し、ストライプ幅は2.5μmである。

【0007】

従来の井戸層/バリア層にAlが入っていない半導体レーザ装置では、In_{0.484}Ga_{0.516}Pガイド層(Eg=1.89eV)とInGaAsP井戸層の間にIn_{0.4}Ga_{0.6}Pバリア層を挿入して、井戸層に隣接する層(つまり、バリア層5)とのEgの差「ΔEg」を0.36eV~0.39eVと、井戸層/バリア層にAlが入っている半導

体レーザ装置よりも大きくしている。例えば、AlGaAs系の半導体レーザの量子井戸構造では、通常 $\Delta E_g = 0.25\text{ eV}$ 程度である。このように、上記従来の井戸層/バリア層にAlが入っていない半導体レーザ装置では、バリア層5に用いるAlフリーの材料として ΔE_g をできるだけ大きくとれる材料を選び、確実なキャリアの閉じ込めを図っているのである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の井戸層/バリア層にAlが入っていないInGaAsP系量子井戸構造の半導体レーザ装置においては、以下のような問題がある。すなわち、上記半導体レーザ装置の特性を測定したところ、閾値電流は 100 mA と高く、良好な特性が得られない。また、温度特性も非常に悪く、 80°C 以上では発振しないのである。尚、上記井戸層/バリア層にAlが入っているAlGaAs系の 780 nm 帯の半導体レーザ装置の場合は、閾値電流が 35 mA 、温度特性が 110 K 程度である。したがって、上記AlGaAs系の半導体レーザ装置と比較した場合には、逆に特性が悪化しているのである。

【0009】

そこで、この発明の目的は、 ΔE_g の大きさに拘らず特性を著しく向上させることができるAlフリーの半導体レーザ装置、および、その半導体レーザ装置を用いた光ディスク装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、第1の発明は、GaAs基板上に、少なくとも、下部クラッド層と、下部ガイド層と、1つあるいは複数の井戸層とバリア層とが積層されて成る量子井戸を含む活性領域と、上部ガイド層と、上部クラッド層が形成された発振波長が 760 nm より大きく且つ 800 nm より小さい半導体レーザ装置において、上記井戸層およびバリア層はInGaP、InGaAsPあるいはGaAsPの何れかで構成され、上記ガイド層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0.20 < x \leq 1$) で構成されていることを特徴としている。

【0011】

後に詳述するように、InGaAsPは、組成を変えると、同じEgであってもコンダクションバンドのエネルギー(Ec)とバレンスバンドのエネルギー(Ev)との値は変わってくる。特に、格子定数がGaAs基板に近い組成であるInGaAsPのEgは、バレンスバンド側に広がってくる。そのために、井戸層およびバリア層にInGaAsP系材料を用いた場合には、両層の間の ΔE_g を大きな値に設定しても、Evの差($|\Delta E_v|$)ばかりが大きくなって、Ecの差($|\Delta E_c|$)はAlGaAs系の半導体レーザ装置程度の大きさを確保することができない。

【0012】

したがって、上記バリア層およびガイド層としてInGaPを用いた従来の780nm帯半導体レーザ装置の場合には、 $|\Delta E_c|$ 小による電子のオーバーフローが生じて、閾値電流の上昇や温度特性の悪化等の特性不良の原因となっている。

【0013】

上記構成によれば、InGaP, InGaAsPあるいはGaAsPの何れかで構成されるAlを含まないバリア層の外側に、III族中のAl組成比が0.20より大きいAlGaAsガイド層が設けられている。したがって、上記InGaP, InGaAsPあるいはGaAsPの何れかで構成されるAlを含まない井戸層と上記ガイド層との $|\Delta E_c|$ が、0.12eV程度以上に設定される。この0.12eV程度とは、AlGaAs系半導体レーザの量子井戸構造において、バリア層としてIII族のAl組成が0.27程度のAlGaAsを用いた場合の、バリア層と井戸層との ΔE_c に相当する。したがって、AlGaAs系の半導体レーザと同等以上に電子のオーバーフローが抑制される。

【0014】

その結果、上記InGaPガイド層を用いた半導体レーザ装置における特性不良の原因であった井戸層からの電子のオーバーフローを解消することができ、活性領域にAlを含まない780nm帯の半導体レーザ装置の特性が、著しく向上されるのである。さらに、上記Alを含まないバリア層の存在によって、上記井戸層には、Alを含む上記AlGaAsガイド層が隣接されることはない。したがって、高い信頼性が確保される。

【0015】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記ガイド層のIII族元素中におけるAlの組成比を表わす上記xの値は0.25よりも大きくなっている。

【0016】

この実施例によれば、上記AlGaAsガイド層と井戸層との $|\Delta E_c|$ を0.12eVよりも確実に大きくして、上記井戸層からの電子のオーバーフローがより確実に抑制される。

【0017】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記下部クラッド層および上部クラッド層はAlを含んで構成されており、上記xの値は上記下部クラッド層および上部クラッド層のAlの組成比の値よりも小さくなっている。

【0018】

この実施例によれば、上記AlGaAsガイド層の $|\Delta E_{c0}|$ およびGaAs基板に対するEvの差である $|\Delta E_{v0}|$ が、上記下部クラッド層および上部クラッド層よりも小さくなる。したがって、上記ガイド層中で電子のオーバーフローが抑え込まれて、温度特性の向上が図られる。

【0019】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記xの値は、段階的にあるいは連続的に、且つ、上記下部クラッド層および上部クラッド層に近づく程大きくなるように、変化している。

【0020】

この実施例によれば、上記AlGaAsガイド層の $|\Delta E_{c0}|$ および $|\Delta E_{v0}|$ が、上記井戸層側から下部クラッド層および上部クラッド層側に向かって順次大きくなっている。したがって、より確実に上記ガイド層中で電子のオーバーフローが抑え込まれる。

【0021】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記ガイド層における少なくともバリア層に接している部分の上記xの値は、0.4より

も小さくなっている。

【0022】

この実施例によれば、上記ガイド層における井戸層に近い領域におけるAl組成が低くなっている。したがって、信頼性に悪影響を及ぼすことが防止される。

【0023】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記井戸層は圧縮歪を有している。

【0024】

この実施例によれば、上記井戸層には圧縮歪が導入されている。したがって、低閾値電流化が図られる。

【0025】

また、1実施例では、上記第1の発明の半導体レーザ装置において、上記バリア層は引張歪を有している。

【0026】

この実施例によれば、低閾値電流化を図るために上記井戸層に圧縮歪が導入された場合に、引張歪が導入された上記バリア層は歪補償機能を呈する。したがって、結晶内の欠陥が減少して、より高い信頼性が得られるのである。

【0027】

また、第2の発明の光ディスク装置は、上記第1の発明の半導体レーザ装置を発光装置として用いたことを特徴としている。

【0028】

上記構成によれば、CD/MD用の光ディスク装置の発光装置として、従来よりも高い光出力で安定に動作する半導体レーザ装置が用いられている。したがって、光ディスクの回転数を従来よりも高速にしてもデータの読み書きが可能となり、特にCD-R, CD-RW(CD rewritable)等への書き込み時に問題となっていた光ディスクへのアクセス時間が格段に短くなる。

【0029】

【発明の実施の形態】

以下、この発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

【0030】

<第1実施の形態>

図1は、本実施の形態の半導体レーザ装置における構成を示す図である。本実施の形態は、InGaAsP井戸層/InGaPバリア層の量子井戸活性領域とAlGaAsガイド層とを有する発振波長が780nmの半導体レーザ装置に関する。

【0031】

図1において、21はn型GaAs基板、22はn型GaAsバッファ層（層厚0.5μm）、23はn型Al_{0.5}Ga_{0.5}As下部クラッド層（層厚1.7μm）、24はAl_{0.35}Ga_{0.65}As下部ガイド層（層厚45nm）、25は活性領域である。ここで、活性領域25は、バリア層26と井戸層27とから成る二重量子井戸(DQW)構造を有している。また、28はAl_{0.35}Ga_{0.65}As上部ガイド層（層厚45nm）、29aはp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As上部第1クラッド層（層厚0.2μm）、30はp型GaAsエッチングトップ層（層厚3nm）、29bはリジストライプ形状のp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As上部第2クラッド層（層厚1.28μm）、31はp型GaAs保護層（層厚0.7μm）、32はn型Al_{0.7}Ga_{0.3}As第1電流ブロック層（層厚0.6μm）、33はn型GaAs第2電流ブロック層（層厚0.7μm）、34はp型GaAs埋込み保護層（層厚0.6μm）、35はp型GaAsキャップ層（層厚2μm）、36はn側電極、37はp側電極である。

【0032】

尚、上記バリア層26はIn_{0.4}Ga_{0.6}Pで構成され、歪は引張歪-0.62%で、層厚は26a,26cが8nmであり、26bが7nmである。尚、In_{0.4}Ga_{0.6}PのEgは、歪を考慮しない場合は2.02eV程度と算出される。しかしながら、引張歪による影響によって、1.93eV~1.96eV程度になると想られる。井戸層27は、In_{0.162}Ga_{0.838}As_{0.671}P_{0.329}で構成され、Egは1.57eVで、基板と格子整合しており、層厚は27a,27b共に5nmである。尚、井戸層27とバリア層26との|ΔEg|は0.36eV~0.39eVである。また、AlGaAsガイド層24,28のEgは1.86eVである。

【0033】

ところで、上記AlGaAs系の半導体レーザ装置では、通常井戸層とバリア層

との $|\Delta Eg|$ は 0.25 eV 程度であり、この ΔEg が 0.20 eV 程度になるとキヤリアがオーバーフローして特性の劣化が見られるようになる。

【0034】

上記構成の InGaAsP 井戸層 / InGaP バリア層 / AlGaAs ガイド層 半導体レーザ装置は、以下のようにして作成することができる。すなわち、先ず、(100)面を有する GaAs 基板 21 上に、GaAs バッファ層 22、AlGaAs 下部クラッド層 23、AlGaAs 下部ガイド層 24、3 層のバリア層 26 と 2 層の井戸層 27 を交互に配置して成る DQW 構造の活性領域 25、AlGaAs 上部ガイド層 28、AlGaAs 上部第 1 クラッド層 29a、GaAs エッチングストップ層 30、AlGaAs 上部第 2 クラッド層 29b、GaAs 保護層 31 を、有機金属気相成長法によって順次結晶成長させる。さらに、GaAs 保護層 31 上におけるリッジストライプ部を形成する部分に、ストライプ方向が(011)方向であるようなレジストマスクを写真工程によって形成する。

【0035】

次に、上記レジストマスク以外の部分における GaAs 保護層 31 および AlGaAs 上部第 2 クラッド層 29b のみをエッチング除去して、リッジストライプ部を形成する。そして、このリッジストライプ部の上側及び両側を含む全体に、AlGaAs 第 1 電流ブロック層 32、GaAs 第 2 電流ブロック層 33、GaAs 埋込み保護層 34 を、有機金属気相成長法によって順次結晶成長させる。その際に、上記リッジストライプ部上には、リッジストライプ部の形状を反映して電流ブロック層 32, 33 および埋込み保護層 34 が凸状に形成される。

【0036】

次に、上記 GaAs 埋込み保護層 34 上における上記凸状部を除く領域にレジストマスクを形成する。そして、上記凸状部の埋込み保護層 34, 第 2 電流ブロック層 33 および第 1 電流ブロック層 32 をエッチングにより順次除去して、リッジストライプ部の頂部を露出させる。その後、全面に、GaAs キャップ層 35 を有機金属気相成長法によって結晶成長させる。そして最後に、基板 21 の表面に n 側電極 36 を形成し、キャップ層 35 の表面に p 側電極 37 を形成する。以上のようにして、ストライプ幅 2.5 μ m の埋込みリッジ構造を有する InGaAsP 井

戸層/InGaPバリア層/AlGaAsガイド層の半導体レーザ装置が形成される。

【0037】

上述のようにして形成された半導体レーザ装置を、共振器長800μmで壁開し、端面反射コーティングを施し、システムにマウントした後、素子特性の測定を行った。その結果、閾値電流 $I_{th} = 3.8 \text{ mA}$ 、温度特性 $T_0 = 108 \text{ K}$ を呈した。すなわち、本実施の形態における半導体レーザ装置では、従来の井戸層/バリア層にAlが入っていないInGaAsP系量子井戸構造の半導体レーザ装置に比べ、井戸層27およびバリア層26の構成は同様であるにも拘らず、閾値電流 I_{th} 、温度特性 T_0 共に向上させることができる。以下、その理由について検証してみる。

【0038】

(Ec,Evの机上検討)

半導体の E_g は、コンダクションバンドのエネルギー (E_c) およびバレンスバンドのエネルギー (E_v) の差である。しかしながら、例え同じ E_g であっても、 E_c および E_v は材料系や組成等によって相違する。一般に、AlGaAs系は E_c, E_v が高いのに対して、InGaAsP系では E_c, E_v が低いと言われている。異なる半導体層間のヘテロ界面においては、両層間の E_c 同士の差及び E_v 同士の差 ($\Delta E_c, \Delta E_v$) が電子やキャリアの振る舞いに影響を与える。そこで、本実施の形態の半導体レーザ装置において井戸層27に用いているInGaAsPおよびガイド層24に用いているAlGaAsの組成に対する E_c, E_v について着目し、その関係について検討を行ってみる。

【0039】

以下においては、半導体の E_g, E_c, E_v の大小を、両半導体レーザ装置において基板に用いているGaAsの E_g, E_c, E_v を基準にしてその基準に対する差の値 $|\Delta E_{g0}|, |\Delta E_{c0}|, |\Delta E_{v0}|$ で表現することにする。また、 $|\Delta E_{g0}|$ は $|\Delta E_{c0}| + |\Delta E_{v0}|$ である。ここで、 $|\Delta E_{g0}|$ のうち $|\Delta E_{c0}|$ が占める割合を、 $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ と表現する。

【0040】

そうすると、InGaPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ については

$$|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}| = 0.18$$

という数値がAppl.Phys.Lett.66,p1785(1995)に開示されており、これを検討に使用する。一方、GaAsPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ については、上記InGaPより大であることは一般に知られてはいるが、具体的な数値は不明である。そこで、GaAsPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ として幾つかの値を設定し、更にInGaPとGaAsPとの間の組成であるInGaAsPについては、組成に応じてInGaPの値とGaAsPの値との間で変化すると仮定し、各組成におけるInGaAsPの $|\Delta E_{g0}|$, $|\Delta E_{c0}|$ 及び $|\Delta E_{v0}|$ がどのようになるかを検討してみる。ここでは、実際のGaAsP特性に最も合った例として、GaAsPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ を0.60とした場合を示す。尚、InGaAsP系のEg自体についても、実験結果に基づいて組成との関係を推定した。これは、InGaAsP系のEgについて、組成との関係式が幾つか提示されてはいるが、互いに相違しており明確になっていないためである。尚、AlGaAsの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ については、一般に0.6~0.65と言われており、0.6として検討を行った。

【0041】

図4は、InGaAsPについて、横軸xをIII族のGa組成とする一方、縦軸yをV族のP組成とした平面上に、同じEgとなる(x, y)を結んで等Eg曲線を描いた図である。図5は、横軸xをIII族のGa組成とする一方、縦軸yをV族のP組成とした平面上に、同じEcとなる(x, y)を結んで等Ec曲線を描いた図である。尚、 $|\Delta E_{c0}|$ を50meV毎の等間隔で描いている。また、図6は、横軸xをIII族のGa組成とする一方、縦軸yをV族のP組成とした平面上に、同じEvとなる(x, y)を結んで等Ev曲線を描いた図である。尚、 $|\Delta E_{v0}|$ を50meV毎の等間隔で描いている。図7は、横軸xをIII族のGa組成とする一方、縦軸yをV族のP組成とした平面上に、GaAsに対する歪量が同じになる(x, y)を結んで等歪曲線(等格子定数曲線)を描いた図である。ところで、歪によるEg, Ec, Evの変化については、InGaPの圧縮歪の場合に関する評価した例が「J.Appl.Phys., 54, 4, pp.2052~2056(1983)」に開示されている。しかしながら、その他のInGaAsPやGaAsPの種々の組成によってどのように変化するかが不明であるため、図4~図6においては歪の影響は考慮してはいない。

【0042】

上記等Eg線と等Ec線と等Ev線とを比較すると、上記等Eg線上に沿って組成をInGaPに近づけると、 $|\Delta E_{v0}|$ は大きくなるが $|\Delta E_{c0}|$ は若干小さくなり、Egはバレンスバンド側に広がることが判る。逆に、組成をGaAsPに近づけると、 $|\Delta E_{v0}|$ は小さくなるが $|\Delta E_{c0}|$ が大きくなり、Egはコンダクションバンド側に広がることが判る。

【0043】

図8に、GaAs基板上に格子整合するInGaAsPおよびAlGaAsのEc,Evの関係を示している。InGaAsP系材料は、AlGaAs系材料よりも $|\Delta E_{v0}|$ が大きくなり $|\Delta E_{c0}|$ が小さくなることが判る。また、図8には、本実施の形態におけるバリア層26に相当する $In_{0.4}Ga_{0.6}P$ についても比較のために示している。尚、この $In_{0.4}Ga_{0.6}P$ の組成においては-0.64%の引張歪を有しており、図8においては、歪の影響を考慮した $|\Delta E_{c0}|$ の推定値を記載している。この推定値は、圧縮歪InGaPでのEgの変化の報告例を参考にしたものであって、飽くまで目安でしかない。

【0044】

(机上検討図と本実施の形態の比較、図4～図7から判る効果)

図4～図7に、本実施の形態半導体レーザ装置におけるInGaAsP井戸層27およびInGaPバリア層26の各組成(x, y)点を、夫々○,●で示している。但し、InGaPバリア層26は引張歪であるため、Eg, $|\Delta E_{c0}|$, $|\Delta E_{v0}|$ 共に、実際にはより小さい値になると考えられる。図5より $|\Delta E_{c0}|$ を読み取り、図6より $|\Delta E_{v0}|$ を読み取ることができる。また、図8に、井戸層27, ガイド層24, 28およびバリア層26に該当する組成を、夫々①, ②, ③で示している。それに基づいて、GaAs基板21, InGaAsP井戸層27, InGaPバリア層26およびAlGaAsガイド層24, 28のエネルギーバンドの関係を描くと図3に示すようになる。さらに、本実施の形態における素子構造の活性領域近傍のエネルギーバンドを描くと図2(a)に示すようになる。尚、図2(b)に、InGaPガイド層を用いた上記従来の半導体レーザ装置のエネルギーバンドを示している。但し、クラッド層の組成は、本実施の形態に合わせて $Al_{0.5}Ga_{0.5}A$

sとしている。

【0045】

図2(a)及び図2(b)において、本実施の形態の半導体レーザ装置と従来の半導体レーザ装置とを比較すると、先ず第1に明確に判ることは、ガイド層同士の比較において、本実施の形態の半導体レーザ装置においては、従来の半導体レーザ装置の場合よりも、ガイド層のEgは小さいが、井戸層とガイド層との $|\Delta E_c|$ は逆に大きくなっていることが判る。これによって、InGaPバリア層26からの電子のオーバーフローがAlGaAsガイド層24,28によって抑制されるために、従来のInGaPガイド層半導体レーザ装置に対して、閾値電流の低減および温度特性の向上に繋がったと推定される。

【0046】

(AlGaAsガイド層組成の有効な範囲の決定)

図5および図6は、上述したようにGaAsPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ を0.60と仮定した場合のものであり、真の曲線は不明である。しかしながら、本実施の形態の半導体レーザ装置と上記従来の半導体レーザ装置とから得られた素子特性が、上述したように、図5および図6による推定に対して大きな齟齬がないために、図4～図7に示す曲線が有する傾向は、大まかには実態を表わしていると判断される。

【0047】

以下、この判断に基づいて、AlGaAs組成がガイド層として有効に機能する $|\Delta E_{c0}|$ の範囲について述べる。

【0048】

上記井戸層からのキャリアのオーバーフローについては電子が支配的と考え、 $|\Delta E_{c0}|$ を必要に小さくしないように設定することにする。尚、発振波長が780nmの半導体レーザ装置におけるInGaAsP井戸層では、 $|\Delta E_{c0}|$ =約0.03eVであり、 $|\Delta E_{v0}|$ =約0.12eVであると推定される。但し、この値は、井戸層の歪量等によって変動するので厳密ではない。

【0049】

先ず、 $|\Delta E_{c0}|$ の最小値については、井戸層からの電子のオーバーフローを

防ぐために、ガイド層と井戸層の ΔE_c が0.12eV程度以上になるように設定する必要がある。この0.12eVは、AlGaAs井戸層を有する780nm帯半導体レーザ装置において、III族のAl組成が0.27程度であるAlGaAsをガイド層として用いた場合に相当する。本実施の形態の半導体レーザ装置の場合は、井戸層27が $|\Delta E_{c0}|$ =約0.03eVであるInGaAsPであることから、ガイド層24,28の $|\Delta E_{c0}|>$ 約0.15eV(=約0.03eV+0.12eV)が条件となる。そして、この $|\Delta E_{c0}|$ に相当するAlGaAsは、Al組成が0.20よりも大きいAlGaAsとなる。但し、これは最低限の ΔE_c を確保するための値であり、より確実にキャリアのオーバーフローを防ぐために、はAl組成が0.25よりも大きいAlGaAsをガイド層24,28として用いることが望ましい。

【0050】

次に、 $|\Delta E_{c0}|$ の最大値については、電子の注入は相当大きなバリアでなければあまり影響はないと考え、特に考慮しないものとする。本実施の形態の半導体レーザ装置の場合には、ガイド層24,28のAl組成は0.35であるので十分な ΔE_c が得られている。

【0051】

(Alフリーによる高信頼性)

本実施の形態においては、井戸層27および井戸層27に接するバリア層26にAlを含んでいないために、高温、高出力時においても、高い信頼性を得ることが可能である。仮に、ガイド層24,28に接するバリア層26を無くして、AlGaAsガイド層24,28とInGaAsP井戸層27とを隣接させても、井戸層27からのキャリアのオーバーフローを抑制できる可能性はある。しかしながら、不純物をより多く含むAlを含むガイド層24,28は、発光層あるいはそれに隣接する層として用いると非発光再結合が発生して活性領域での結晶の劣化を促進させるので、望ましくはない。

【0052】

また、本実施の形態においては、上記量子井戸活性領域における最外のバリア層26a,26cの外側がAlGaAsのガイド層24,28となっている。しかしながら、InGaPバリア層26の層厚を4nm以下にすると、高温、高出力時での信

頼性が低下する。これは、ガイド層24,28のAlの影響と考えられる。したがって、InGaPバリア層26の層厚を4nmより大きくすることによって、ガイド層24,28のAlの影響を大幅に抑制することができ、高温、高出力時においても高い信頼性を得ることができるのである。

【0053】

(InGaAsP井戸層によるEc,Evに関する利点)

図3から判るように、上記InGaAsP井戸層27は、GaAs基板21に比較して、Egはバレンスバンド側に広がって $|\Delta E_{c0}| < |\Delta E_{v0}|$ となる。これは逆に、AlGaAsのガイド層24,28は、Egはコンダクションバンド側に広がって $|\Delta E_{c0}| > |\Delta E_{v0}|$ となる。したがって、InGaAsP井戸層27とAlGaAsのガイド層24,28との組み合わせは、例えばAlGaAsを井戸層とした場合に比較して、井戸層27とガイド層24,28との ΔE_c および ΔE_v を考えると、 $|\Delta E_c|$ をより大きくでき、 $|\Delta E_v|$ をより小さくできる。すなわち、本実施の形態によれば、小さなEgのガイド層で $|\Delta E_v|$ を小さいままに $|\Delta E_c|$ を大きくすることが可能になるのである。したがって、ガイド層24,28のAl組成は、少なくとも0.20より大きく設定すれば本実施の形態における効果が現れるのである。尚、その場合におけるAl組成は、AlGaAs井戸層を有する780nm帯半導体レーザ装置におけるガイド層のAl組成よりも0.05以上少ない。

【0054】

本実施の形態の半導体レーザ装置においては、AlGaAsのガイド層24,28のAl組成を0.35としているが、0.20より大きければよく、Al組成を0.35より下げても差し支えない。その場合には、キャリアのオーバーフローの効果は少し低下する代わりに、Alによる信頼性の低下をさらに抑制することが可能になる。

【0055】

以上のごとく、本実施の形態においては、半導体レーザ装置における活性領域25を、バリア層26と井戸層27とから成るDQW構造とし、バリア層26をInGaPで構成する一方、井戸層27をGaAs基板21と格子整合したIn_{0.162}

$\text{Ga}_{0.838}\text{As}_{0.671}\text{P}_{0.329}$ で構成している。更に、ガイド層24,28を $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ で構成している。このように、ガイド層24,28を AlGaAs で構成することによって、ガイド層として従来のごとく InGaP を用いた場合に比してガイド層の E_g は小さくなるが、井戸層とガイド層との $|\Delta E_c|$ を大きくすることができます。したがって、 InGaP バリア層26からの電子のオーバーフローを AlGaAs ガイド層24,28によって抑制することができる。その結果、従来の InGaP ガイド層半導体レーザ装置よりも、閾値電流の低減および温度特性の向上を図ることができるのである。

【0056】

さらに、上記ガイド層24,28を、0.20よりも大きいAl組成の AlGaAs とすることによって、ガイド層24,28と井戸層27との ΔE_c を0.12eV以上に設定することができ、井戸層27からの電子のオーバーフローを抑制することができる。さらに、 InGaAsP 井戸層27と組み合せることによって、小さな E_g のガイド層24,28で、井戸層27とガイド層24,28との $|\Delta E_v|$ を小さいままに $|\Delta E_c|$ を大きくすることが可能になる。すなわち、井戸層27へのホール注入のバリアにはならないようにし、且つ、井戸層27からの電子のオーバーフローを抑制することができるのである。

【0057】

したがって、上述した従来の井戸層/バリア層にAlが入っていない InGaAsP 系量子井戸構造の半導体レーザ装置に比べ、井戸層27およびバリア層26の構成は同様であるにも拘らず、閾値電流 $I_{th} = 38\text{mA}$ 、温度特性 $T_0 = 108\text{K}$ と、 InGaP ガイド層と比べて素子特性を著しく向上させることができるのである。

【0058】

その際に、上記 InGaP バリア層26の層厚を4nmより大きくしているので、 AlGaAs ガイド層24,28のAlの影響を大幅に抑制することができ、高温、高出力時に高い信頼性を得ることができる。

【0059】

(種々の構成の自由度)

本実施の形態においては、上記InGaAsP井戸層27をGaAs基板21と同じ格子定数としたが、InGaAsP井戸層27に歪を加えてもAlGaAsのガイド層24,28は有効であり、素子特性の向上に繋がる。また、本実施の形態における井戸数は2層であるが、これに限るものではなく、任意の井戸数で同様の効果が得られる。また、本実施の形態においては埋込リッジ構造としたがこれに限定されるものではなく、リッジ構造、内部ストライプ構造、埋込ヘテロ構造等のあらゆる構造に対して同様の効果を得ることができる。

【0060】

また、本実施の形態においては、上記基板としてn型基板を用いたが、p型基板を用いると共に各層のn型とp型とを入れ換えることも同様の効果を得ることができる。また、波長を780nmとしたがこれに限るものではなく、760nmよりも大きく且つ800nmよりも小さい所謂780nm帯であれば同様の効果を得ることができる。また、波長を780nmとしたがこれに限るものではなく、760nmよりも大きく且つ800nmよりも小さい所謂780nm帯であれば同様の効果を得ることができる。

【0061】

〈第2実施の形態〉

本実施の形態は、InGaAsP井戸層/GaAsPバリア層の量子井戸活性領域とAlGaAsガイド層とを有する発振波長が780nmである半導体レーザ装置に関する。本実施の形態の半導体レーザ装置は、上記第1実施の形態の半導体レーザ装置において、バリア層26をInGaPからGaAs_{0.72}P_{0.28}に置き換えたものであり、バリア層以外の構成および製造方法に変更はない。したがって、以下の説明には、上記第1実施の形態における図1をそのまま用ることにする。

【0062】

上記GaAs_{0.72}P_{0.28}バリア層26は、歪が引張歪-1%で、層厚は26a,26cが8nmであり26bが7nmである。GaAs_{0.72}P_{0.28}のEgは、歪を考慮しない場合は1.77eV程度と算出される。尚、引張歪によるEgへの影響については本材料組成付近では明確ではないので、ここでは考慮しないものとする。井戸層27は、In_{0.162}Ga_{0.838}As_{0.671}P_{0.329}で構成され、Egは1.57eVで、基板と格子整合しており、層厚は27a,27b共に5nmである。井戸層27とバリア層26との|ΔEg|は0.20eVである。また、ガイド層24,28のEg

は1.86eVである。

【0063】

得られた半導体レーザ装置を共振器長800μmで壁開し、端面反射コーティングを施し、システムにマウントした後に、素子特性の測定を行った。その結果、閾値電流 $I_{th} = 25\text{mA}$ 、温度特性 $T_0 = 140\text{K}$ であった。このように、引張歪が導入されたGaAsPバリア層を用いた半導体レーザ装置では、 ΔE_g が0.20eVと小さいにも拘らず、InGaPバリア層を有する上記第1実施の形態の半導体レーザ装置に比して、素子特性を著しく向上させることができる。

【0064】

(GaAsPバリア層の利点、及び、AlGaAsガイド層を併用する利点)

図2(c)に、本実施の形態の半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギー-bandを示す。上記第1実施の形態におけるInGaPバリア層を有する半導体レーザ装置の場合には、図2(a)に示すエネルギー-bandからも判るように、 E_v 側において、ガイド層24, 28から井戸層27へ流れ込むホールに対して非常に大きなバリアができていることが判る。一方、本実施の形態におけるGaAsPバリア層の半導体レーザ装置の場合には、 E_v 側において、ガイド層から井戸層へ流れ込むホールに対するバリアは存在しない。図4～図7に、本実施の形態におけるバリア層のGaAsP組成を▲で示している。先に述べたように、GaAsPの $|\Delta E_{c0}| / |\Delta E_{g0}|$ は0.60程度であると推定されるため、図6から判るように、InGaPに比較して $|\Delta E_{v0}|$ を大幅に小さくすることができる。したがって、バリア層としてInGaPの変わりにGaAsPを用いることによって、井戸層とバリア層との ΔE_v も小さくでき、井戸層へのホールの注入を格段に改善することができる。

【0065】

したがって、本実施の形態によれば、電子およびホール共に、キャリアの注入が効率よく行うことができ、閾値電流の低減に繋がったものと推定される。

【0066】

一方、図4および図5から判るように、上記GaAsPバリア層の $|\Delta E_{c0}|$ については、InGaPに比べて E_g が小さくなっているにも関わらず大きくなつて

いる。組成が $\text{GaAs}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ である場合の $|\Delta E_{c0}|$ は、0.21eV程度と推定される。したがって、上述したように InGaAsP 井戸層27の $|\Delta E_{c0}|$ は約0.03eVであるから、井戸層とバリア層との $|\Delta E_c|$ は0.18eV (=0.21eV - 0.03eV)程度となる。この値は、 AlGaAs 井戸層を有する780nm帯半導体レーザ装置と比較しても同等レベルの大きさを有している。しかしながら、 GaAsP バリア層は-1%の引張歪を有するため、井戸層の両側に薄く形成することはできるのであるが、ガイド層として数10nmの厚さで形成すると欠陥が発生してしまう。そのため、ガイド層としては、 GaAs 基板に格子整合し、且つ、 ΔE_c を大きく設定できる材料を形成する必要がある。以上のことから、本実施の形態のごとく、ガイド層として AlGaAs を用いるのが効果的である。

【0067】

仮に、上記ガイド層として GaAs 基板に格子整合する InGaAsP を用いた場合には、井戸層とガイド層との $|\Delta E_c|$ は、図8からも判るように小さい値になってしまう。井戸層とバリア層との $|\Delta E_c|$ は十分大きいのであるが、バリア層の厚さは薄いので電子は容易にオーバーフローしてしまい、良好な特性を得ることはできないのである。

【0068】

本実施の形態の半導体レーザ装置における $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ ガイド層24,28は、その $|\Delta E_{c0}|$ が0.26eV程度であり、バリア層よりもさらに高いと推定される。したがって、キャリアのオーバーフロー抑制に関して極めて高い効果を得ることができ、温度特性 T_0 を向上させることができるのである。

【0069】

比較として、 AlGaAs 系の半導体レーザ装置の場合には、バリア層およびガイド層に $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ を用いると、井戸層とバリア層およびガイド層との ΔE_c は0.18eV程度となると推定される。したがって、同じ $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ を用いた場合でも、本実施の形態の方が井戸層とガイド層との ΔE_c を大きく取ることができるのである。これは、上記第1実施の形態の説明においても述べたように、井戸層に InGaAsP を用いたことによる効果である。

【0070】

(GaAsPバリア層の有効な範囲の決定)

本実施の形態においては、上記第1実施の形態に対して、上記バリア層にGaAs_{0.72}P_{0.28}を用いることで特性を改善するようにしているが、このバリア層は適切な組成範囲のGaAsP, InGaAsPを用いることで十分な効果を得ることができる。

【0071】

以下、上記InGaAsP組成がバリア層として有効に機能する $|\Delta E_{c0}|$ および $|\Delta E_{v0}|$ の上限と下限について述べる。井戸層へのキャリア注入についてはホールが支配的と考え、 $|\Delta E_{v0}|$ を必要に大きくしないように設定する。また、井戸層からのキャリアのオーバーフローについては電子が支配的と考え、 $|\Delta E_{c0}|$ を必要に小さくしないように設定することにする。尚、発振波長が780nmの半導体レーザ装置におけるInGaAsP井戸層では、 $|\Delta E_{c0}| =$ 約0.03eVであり、 $|\Delta E_{v0}| =$ 約0.12eVであると推定される。但し、この値は、井戸層の歪量等によって変動するので厳密ではない。

【0072】

先ず、 $|\Delta E_{v0}|$ の最小値については、バリア層と井戸層との ΔE_v は少なくとも正の値になる必要がある。したがって、 $|\Delta E_{v0}| >$ 約0.12eVであり、図6からP組成0.15～0.30付近に $|\Delta E_{v0}|$ の境界が存在すると言える。

【0073】

次に、 $|\Delta E_{v0}|$ の最大値については、ガイド層からのホールの注入を疎外しない程度に抑える必要がある。ガイド層やクラッド層として、InGaPやAlGaAs等のGaAs基板に格子整合する種々の材料や組成が用いられるが、少なくとも最も $|\Delta E_{v0}|$ の大きいInGaPが用いられた場合よりも $|\Delta E_{v0}|$ を小さくする必要があり、 $|\Delta E_{v0}| <$ 約0.38eV(図6におけるGaAsに対する歪量が0の破線とInGaPの線との交点での $|\Delta E_{v0}|$ の値)となる。したがって、図6から、P組成が0.60～0.80である付近に $|\Delta E_{v0}|$ の境界が存在すると言える。

【0074】

また、 $|\Delta E_{c0}|$ の最小値については、井戸層からの電子のオーバーフローを防ぐために、バリア層と井戸層の ΔE_c が 0.12 eV 程度以上になるように設定する必要がある。この 0.12 eV は、AlGaAs系の半導体レーザ装置では、バリア層にIII族のAl組成が 0.27 程度のAlGaAsを用いた場合に相当する。したがって、バリア層の $|\Delta E_{c0}|$ は、井戸層の $|\Delta E_{c0}|$ が約 0.03 eV であるから、 $|\Delta E_{c0}| > \text{約 } 0.15\text{ eV}$ ($\text{約 } 0.03\text{ eV} + 0.12\text{ eV}$)となる。図5及び図7から判るように等 E_c 線が等格子定数線と平行に近いことから、 $|\Delta E_{c0}|$ に関しては井戸層のGaAsに対する歪量からの歪量の差の値で境界を設定することができる。すなわち、井戸層の歪量との歪量の差が $-0.65\% \sim -0.85\%$ の付近に $|\Delta E_{c0}|$ の境界が存在すると言える。

【0075】

尚、本実施の形態の半導体レーザ装置の場合には、AlGaAsガイド層24, 28が存在するため、ガイド層24, 28より外側へのキャリアのオーバーフローについては問題が無い構造になっている。しかしながら、バリア層26と井戸層27との ΔE_c を上述のように大きくすることによって、不必要に多くのキャリアがAlを含む層へオーバーフローしてしまうのを抑制することができ、上記第1実施の形態の場合に比べて、より高い信頼性を得ることができる。

【0076】

次に、 $|\Delta E_{c0}|$ の最大値については、電子の注入は相当大きなバリアでなければあまり影響はないと考え、特に考慮しないものとする。

【0077】

以上、大まかに推定したP組成及び歪量の境界に基づいて、実際に幾種類かのバリア層の半導体レーザ装置を作成して特性を測定した結果によると、P組成については、 0.2 よりも大きく且つ 0.75 よりも小さい範囲が有効なのである。更には、 0.25 よりも大きく且つ 0.6 よりも小さい範囲で、極めて有効な素子特性を得ることができるのである。また、井戸層の歪量との歪量の差を -0.65% 以下に設定すると、素子特性が低下する。したがって、井戸層の歪量との歪量の差については、 -0.65% よりも大きい範囲が有効なのである。

【0078】

尚、上述した $|\Delta E_{g0}|$, $|\Delta E_{c0}|$, $|\Delta E_{v0}|$ の推定値は、歪によるバンド構造の変化については明確なデータが無いために考慮しておらず、真の値を示しているとは限らない。しかしながら、本実施の形態において得られた範囲は、飽くまでもこれらの推定を参考にして実際に半導体レーザ装置を作成し、その特性を検討した結果に基づいて得たものである。したがって、上記推定値の真偽によって、上記範囲が左右されるものではない。

【0079】

以上のごとく、本実施の形態においては、上記第1実施の形態の半導体レーザ装置におけるバリア層26を、InGaPから歪量-1%が導入された $\text{GaAs}_{0.72}\text{P}_{0.28}$ に置き換えて、InGaAsP井戸層/GaAsPバリア層の量子井戸活性領域とAlGaAsガイド層との半導体レーザ装置としている。このように、バリア層26を、0.2よりも大きく且つ0.75よりも小さいP組成であって、-0.65%よりも大きい井戸層の歪量(=基板の歪量)との歪量の差を有するGaAsPとし、InGaAsP井戸層27と組み合せることによって、バリア層26と井戸層27とガイド層24,28の $|\Delta E_{v0}|$ を、井戸層27の $|\Delta E_{v0}|$ < バリア層26の $|\Delta E_{v0}|$ < ガイド層24,28の $|\Delta E_{v0}|$ の大小関係が成立するよう設定することができ、ガイド層24,28からのホールの注入を効率良く行うことができる。さらに、バリア層26と井戸層27との間の ΔE_c を0.12eV以上に設定することができ、井戸層27からの電子のオーバーフローを抑制することができる。

【0080】

したがって、上記井戸層27とバリア層26との ΔE_g は0.20eVと小さいにも拘わらず、閾値電流 $I_{th}=25\text{mA}$ 、温度特性 $T_0=140\text{K}$ と、InGaPバリア層と比べて素子特性を著しく向上させることができるのである。

【0081】

(種々の構成の自由度)

本実施の形態においては、上記InGaAsP井戸層27をGaAs基板21と同じ格子定数としたが、InGaAsP井戸層27に歪を加えてもGaAsPバリア層26は有効であり、素子特性の向上に繋がる。また、本実施の形態における井戸

数は2層であるが、これに限るものではなく、任意の井戸数で同様の効果が得られる。また、本実施の形態においては埋込リッジ構造としたがこれに限定されるものではなく、リッジ構造、内部ストライプ構造、埋込ヘテロ構造等のあらゆる構造に対して同様の効果を得ることができる。

【0082】

また、本実施の形態においては、上記基板としてn型基板を用いたが、p型基板を用いると共に各層のn型とp型とを入れ換えることも同様の効果を得ることができる。また、波長を780nmとしたがこれに限るものではなく、760nmよりも大きく且つ800nmよりも小さい所謂780nm帯であれば同様の効果を得ることができるのである。

【0083】

<第3実施の形態>

図9は、本実施の形態の半導体レーザ装置における構成を示す図である。本実施の形態は、InGaAsP圧縮歪井戸層/InGaAsPバリア層の量子井戸活性領域とAlGaAsガイド層とを有する波長780nmの半導体レーザ装置に関する。

【0084】

図9において、41はn型GaAs基板、42はn型GaAsバッファ層(層厚0.5μm)、43aはn型Al_{0.4}Ga_{0.6}As下部第2クラッド層(層厚3.0μm)、43bはn型Al_{0.5}Ga_{0.5}As下部第1クラッド層(層厚0.2μm)、44aはAl_{0.42}Ga_{0.58}As下部第2ガイド層(層厚70nm)、44bはAl_{0.32}Ga_{0.68}As下部第1ガイド層(層厚10nm)、45は活性領域である。ここで、活性領域45は、バリア層46と井戸層47とから成るDQW構造を有している。また、48aはAl_{0.32}Ga_{0.68}As上部第1ガイド層(層厚10nm)、48bはAl_{0.42}Ga_{0.58}As上部第2ガイド層(層厚70nm)、49aはp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As上部第1クラッド層(層厚0.2μm)、50はp型GaAsエッチングストップ層(層厚3nm)、49bはリッジストライプ形状のp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As上部第2クラッド層(層厚1.28μm)、51はp型GaAs保護層(層厚0.7μm)、52はn型Al_{0.7}Ga_{0.3}As第1電流ブロック層(層厚0.6μm)、53はn型GaAs第2電流ブロック層(層厚0.7μm)、54はp型GaAs埋込み保護層(層厚0.6μm)、55はp型Ga

Asキャップ層(層厚2 μ m)、5 6はn側電極、5 7はp側電極である。

【0085】

尚、上記バリア層4 6は、 $In_{0.126}Ga_{0.874}As_{0.407}P_{0.593}$ によって構成され、 E_g は1.98eV、歪は引張歪-1.20%で、層厚は4 6a, 4 6cが10nmであり4 6bが5nmである。また、上記井戸層4 7は、 $In_{0.27}Ga_{0.73}As_{0.55}P_{0.45}$ で構成され、 E_g は1.55eV、歪は圧縮歪0.35%で、層厚は4 7a, 4 7b共に8nmである。尚、井戸層4 7とバリア層4 6との $|\Delta E_g|$ は0.43eVである。

【0086】

上記ガイド層4 4b, 4 8aの E_g は1.82eVであり、ガイド層4 4a, 4 8bの E_g は1.95eVである。尚、歪によるバリア層4 6および井戸層4 7の E_g への影響については、本材料組成付近でも明確ではないので、本実施の形態でも考慮しないものとする。

【0087】

上記構成の $InGaAsP$ 圧縮歪井戸層/ $InGaAsP$ バリア層/ $AlGaAs$ ガイド層半導体レーザ装置は、上記第1実施の形態の場合と同様の成長、プロセスの手法によってストライプ幅2 μ mの埋込リッジ構造を形成することによって作成することができる。そして、得られた半導体レーザ装置を共振器長800 μ mで壁開し、端面反射コーティングを施し、システムにマウントした後に、素子特性の測定を行った。その結果、閾値電流 $I_{th} = 30 \text{ mA}$ 、温度特性 $T_0 = 153 \text{ K}$ であった。このように、井戸層に圧縮歪を導入すると共に $InGaAsP$ バリア層を用いた半導体レーザ装置でも、良好な素子特性を得ることができるのである。

【0088】

図10(a)に、本実施の形態の半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギーバンドを示す。本半導体レーザ装置においては、 $AlGaAs$ ガイド層4 4, 4 8の夫々を2層構造としている。そして、井戸層4 7に近いガイド層4 4b, 4 8aについては、上記第1, 第2実施の形態のガイド層2 4, 2 8に比して、 Al の組成を0.32と小さくしている。このように、発光層である井戸層4 7に近い領域の Al 組成を小さくすることによって、信頼性をより向上させる。一方、井

戸層47から遠いガイド層44a, 48bは、Alの組成を上記第1, 第2実施の形態のガイド層24, 28より大きい0.42とし、井戸層47側からクラッド層43, 49側に向かって $|\Delta E_{c0}|$, $|\Delta E_{v0}|$ が順次大きくなるようにしている。したがって、ガイド層44, 48中でキャリアのオーバーフローを抑え込むことができ、上記第2実施の形態の半導体レーザ装置の場合と略同等の温度特性T0を得ることができるのである。

【0089】

本半導体レーザ装置の場合にも、上記バリア層46をP組成が0.60よりも小さいInGaAsPで構成しているため、バリア層にInGaPを用いた上記第1実施の形態の半導体レーザ装置に比較して、井戸層47とバリア層46との間の $|\Delta E_v|$ は小さいままに $|\Delta E_c|$ を大きくすることができる。

【0090】

図5および図6から判るように、本半導体レーザ装置におけるバリア層46の組成付近では等Ec線と等Ev線との組成に対する変化の仕方が大きく異なっており、適切な組成を選ぶことでバリア層46の $|\Delta E_{c0}|$ と $|\Delta E_{v0}|$ とある程度独立に制御することが可能である。例えば、等Ec線が等格子定数線に略平行なことから、バリア層46のEcと歪量とを殆ど変えずにEvを変化させることも可能である。本実施の形態においては、上記第2実施の形態の半導体レーザ装置に比較して井戸層47とバリア層46との $|\Delta E_v|$ が大きくなるようにIn組成およびP組成を調整している。これによって、井戸層47へのホールの閉じ込めをも向上することができる。

【0091】

また、本実施の形態においては、上記井戸層47として0.35%の圧縮歪を有するInGaAsPを用いており、低閾値電流化なる歪の効果を得ることができる。その際に、量子井戸活性領域は、圧縮歪が導入された井戸層47と-1.20%の引張歪が導入されたバリア層46とによる歪補償構造を有している。したがって、活性領域全体としての平均的な歪量を抑制することができ、井戸層を基板に格子整合させる場合と比較して、結晶内の欠陥の量を減らして、更なる信頼性の向上を図ることができる。また、平均的な歪量を小さくしたことによって、

量子井戸層活性領域全体としての臨界膜厚も増大し、バリア層46a, 46bの層厚を第2実施の形態の場合の8nmに比べて10nmと厚く設定することができる。また、井戸層47からAlGaAsガイド層44, 48までの距離を10nmと大きくしているので、ガイド層44, 48から活性領域へのAlの影響を更に小さくすることができ、高温、高出力時においても高い信頼性を得ることができる。また、本実施の形態においては、上記バリア層46にInを添加してInGaAsP層としているために、Inによって転位の増殖を抑えることによって、更に高い信頼性を得ることができる。

【0092】

尚、上記構成の半導体レーザ装置におけるガイド層44, 48は2層構造になっており、Al組成を量子井戸活性領域側からクラッド層43, 49側まで2段階に増加している。しかしながら、Al組成を、量子井戸活性領域側からクラッド層43, 49側まで連続的に増加させるようにしても一向に構わない。その場合におけるエネルギーバンドの例を図10(b)に示す。図10(b)においては、AlGaAsガイド層44, 48のAl組成を0.32からクラッド層43b, 49と同じ0.5まで増加させている。この場合にも、キャリアのオーバーフローを十分に抑制することができる。

【0093】

但し、その場合における上記ガイド層44, 48のAl組成は、少なくともバリア層46に接する部分については、Alの組成は0.4より小さくするのが望ましい。これは、井戸層47に近い領域におけるAl組成が高いと、信頼性に悪影響を及ぼすからである。

【0094】

尚、本実施の形態においては、上記活性領域をInGaAsP圧縮歪井戸層/InGaAsP引張歪バリア層としたが、この組み合わせに限定されるものではない。InGaAsP無歪井戸層/InGaAsP引張歪バリア層あるいはInGaAsP圧縮歪井戸層/GaAsPバリア層の組み合わせも可能である。また、本実施の形態における井戸数は2層であるが、これに限定されるものではなく、任意の井戸数で同様の効果を得ることができる。また、本実施の形態においては、埋込リッジ構造

としたがこれに限定されるものではなく、リッジ構造、内部ストライプ構造、埋込ヘテロ構造等のあらゆる構造に対して同様の効果を得ることができる。

【0095】

また、本実施の形態においては、上記基板としてn型基板を用いたが、p型基板を用いると共に各層のn型とp型とを入れ換えても同様の効果を得ることができる。また、波長を780nmとしたがこれに限定されるものではなく、760nmよりも大きく且つ800nmよりも小さい所謂780nm帯であれば同様の効果を得ることができるのである。

【0096】

＜第4実施の形態＞

本実施の形態は、上記各実施の形態における半導体レーザ装置を用いた光ディスク装置に関する。図11は、本実施の形態における光ディスク装置の構成図である。この光ディスク装置は、光ディスク61にデータを書き込んだり、光ディスク61に書き込まれたデータを再生したりするものであり、その際に用いる発光装置として、上記各実施の形態の何れか一つにおける半導体レーザ装置62を備えている。

【0097】

以下、本光ディスク装置の構成および動作について説明する。本光ディスク装置は、書き込みの際には、半導体レーザ装置62から出射された信号光(データ信号が重畳されたレーザ光)はコリメートレンズ63を通過して平行光となり、ビームスプリッタ64を透過する。そして、 $\lambda/4$ 偏光板65によって偏光状態が調節された後に、レーザ光照射用対物レンズ66によって集光されて光ディスク61を照射する。こうして、データ信号が重畳されたレーザ光によって、光ディスク61にデータが書き込まれる。

【0098】

一方、読み出しの際には、上記半導体レーザ装置62から出射されたデータ信号が重畳されていないレーザ光が、上記書き込みの場合と同じ経路を辿って光ディスク61を照射する。そして、データが記録された光ディスク61の表面で反射されたレーザ光は、レーザ光照射用対物レンズ66および $\lambda/4$ 偏光板65を

経た後、ビームスプリッタ64で反射されて進行方向が90°変更される。その後、再生光用対物レンズ67によって集光され、信号検出用受光素子68に入射される。そして、こうして信号検出用受光素子68内で、入射したレーザ光の強弱に応じて光ディスク61から読み出されたデータ信号が電気信号に変換され、信号光再生回路69によって元の情報信号に再生されるのである。

【0099】

本実施の形態における光ディスク装置においては、上述したように、従来よりも高い光出力で動作する半導体レーザ装置62を用いている。そのために、光ディスク61の回転数を従来よりも高速化しても、データの読み書きを行うことが可能である。したがって、従来、特にCD-R, CD-RW等への書き込み時に問題となっていた光ディスクへのアクセス時間を格段に短くすることができ、より快適な操作を実現した光ディスク装置を提供することが可能になるのである。

【0100】

尚、本実施の形態においては、上記各実施の形態における半導体レーザ装置を記録再生型の光ディスク装置に適用した例について説明した。しかしながら、この発明はこれに限定される物ではなく、波長780nm帯の半導体レーザ装置を発光装置として用いる光ディスク記録装置や光ディスク再生装置にも適用可能であることは言うまでもない。

【0101】

【発明の効果】

以上より明らかなように、第1の発明の発振波長が780nm帯の半導体レーザ装置は、InGaP, InGaAsPあるいはGaAsPの何れか一つで井戸層およびバリア層を構成し、Al_xGa_{1-x}As(0.20 < x ≤ 1)でガイド層を構成したので、上記井戸層とガイド層との|ΔEc|を、上記バリア層にAlGaAsを用いた場合の0.12eV以上に設定することができる。したがって、上記井戸層から電子がオーバーフローすることを抑制できる。

【0102】

すなわち、この発明によれば、InGaPガイド層を用いた半導体レーザ装置における特性不良の原因であった井戸層からの電子のオーバーフローを解消するこ

とができ、活性領域にAlを含まない780nm帯の半導体レーザ装置について、閾値電流の低減および温度特性の向上等、著しい特性の向上を図ることができる。さらに、上記Alを含まないバリア層の存在によって、上記井戸層には、Alを含む上記AlGaAsガイド層が隣接されることはない。したがって、高い信頼性を確保することができる。

【0103】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、上記xの値を0.25よりも大きくしたので、上記AlGaAsガイド層と井戸層との $|\Delta E_c|$ を0.12eVよりも確実に大きくして、上記井戸層からの電子のオーバーフローをより確実に抑制することができる。

【0104】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、上記xの値を上記下部クラッド層および上部クラッド層のAlの組成比の値よりも小さくしたので、上記AlGaAsガイド層の $|\Delta E_{c0}|$ および $|\Delta E_{v0}|$ を、上記下部クラッド層および上部クラッド層よりも小さくできる。したがって、上記ガイド層中において電子のオーバーフローを抑え込んで、温度特性の向上を図ることができる。

【0105】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、上記xの値を、段階的あるいは連続的に、且つ、上記下部クラッド層および上部クラッド層に近づく程大きくなるよう変化させたので、上記AlGaAsガイド層の $|\Delta E_{c0}|$, $|\Delta E_{v0}|$ を、上記井戸層側から下部クラッド層および上部クラッド層側に向かって順次大きくすることができる。したがって、より確実に上記ガイド層中において電子のオーバーフローを抑え込むことができる。

【0106】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、上記ガイド層における少なくともバリア層に接している部分の上記xの値を、0.4よりも小さくしたので、上記ガイド層の井戸層に近い領域のAl組成を低くして、信頼性に悪影響を及ぼすことを防止できる。

【0107】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、上記井戸層に圧縮歪を導入したので、低閾値電流化を図ることができる。

【0108】

また、1実施例の半導体レーザ装置は、バリア層に引張歪を導入したので、低閾値電流化を図るために上記井戸層に圧縮歪を導入した場合に、上記引張歪が導入されたバリア層によって、上記井戸層の歪を補償することができる。したがって、結晶内の欠陥を減少させて、より高い信頼性を得ることができる。

【0109】

また、第2の発明の光ディスク装置は、従来よりも高い光出力で安定に動作する上記第1の発明の半導体レーザ装置を発光装置として用いたので、光ディスクの回転数を従来よりも高速にしてもデータの読み書きを行うことができる。特にCD-R, CD-RW等への書き込み時に問題となっていた光ディスクへのアクセス時間を、格段に短くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の半導体レーザ装置における構成を示す図である。

【図2】 図1に示す半導体レーザ装置および他のバリア層構成を有する半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギーバンドを示す図である。

【図3】 図1におけるGaAs基板, InGaAsP井戸層, InGaPバリア層およびAlGaAsガイド層のエネルギーバンドの関係を示す図である。

【図4】 InGaAsPの等Eg線図である。

【図5】 InGaAsPの等Ec線図である。

【図6】 InGaAsPの等Ev線図である。

【図7】 InGaAsPの等格子定数線図である。

【図8】 GaAs基板に格子整合するGaAs, InGaAsP, AlGaAsおよびIn_{0.4}Ga_{0.6}PのEc, Evの関係を示す図である。

【図9】 図1とは異なる半導体レーザ装置における構成を示す図である。

【図10】 図9に示す半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギーバンドを示す図である。

【図11】 この発明の光ディスク装置の構成図である。

【図12】 井戸層/バリア層にAlが入っていない従来のInGaAsP量子井戸半導体レーザ装置の構造を示す図である。

【図13】 図12に示す半導体レーザ装置における活性領域近傍のエネルギー・バンドギャップ(Eg)を示す図である。

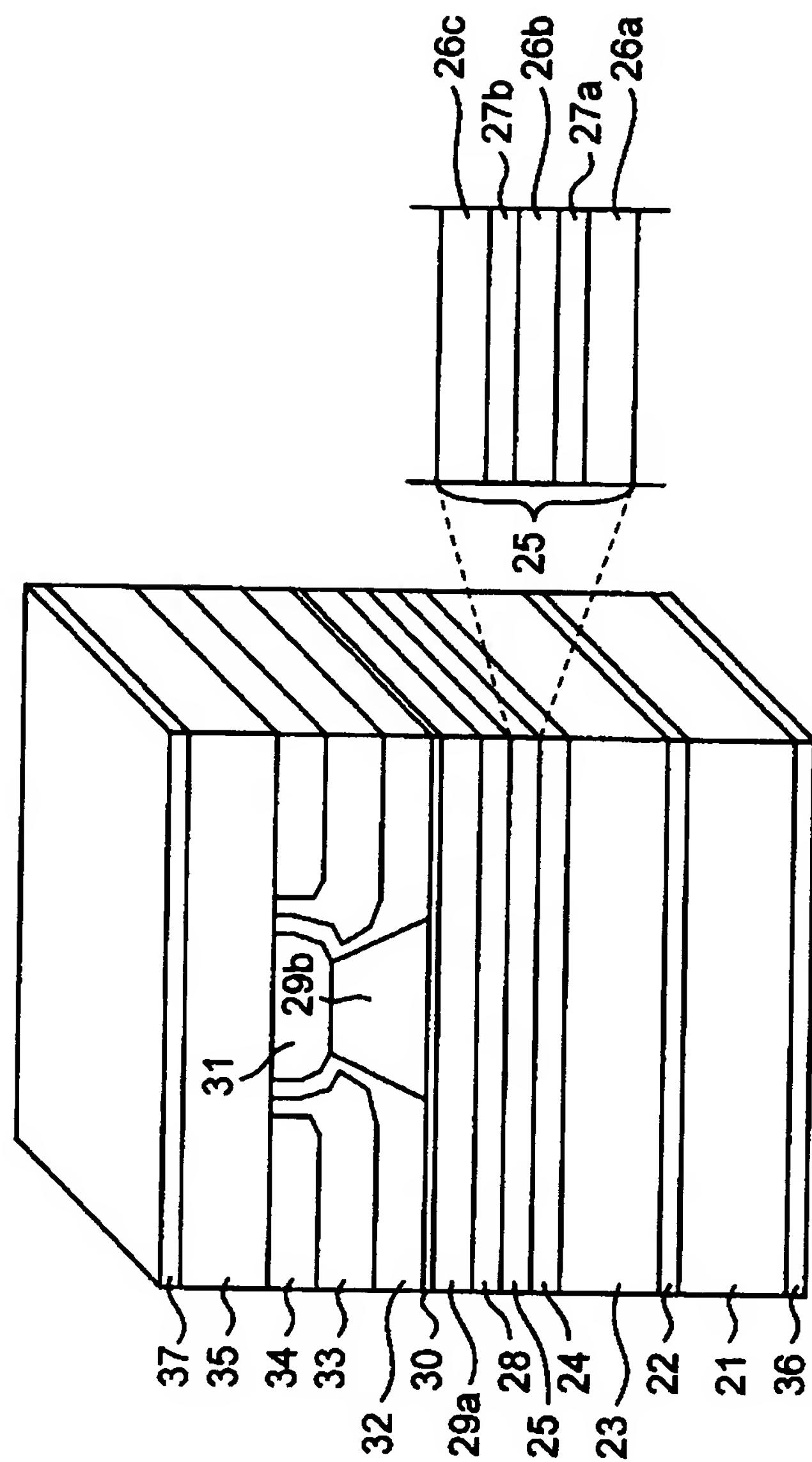
【符号の説明】

- 2 1, 4 1 … GaAs基板、
- 2 2, 4 2 … GaAsバッファ層、
- 2 3 … AlGaAs下部クラッド層、
- 2 4 … AlGaAs下部ガイド層、
- 2 5, 4 5 … 活性領域、
- 2 6 … InGaPバリア層、
- 2 7, 4 7 … InGaAsP井戸層、
- 2 8 … AlGaAs上部ガイド層、
- 2 9 a, 4 9 a … AlGaAs上部第1クラッド層、
- 2 9 b, 4 9 b … AlGaAs上部第2クラッド層、
- 3 0, 5 0 … GaAsエッチングトップ層、
- 3 1, 5 1 … GaAs保護層、
- 3 2, 5 2 … AlGaAs第1電流ブロック層、
- 3 3, 5 3 … GaAs第2電流ブロック層、
- 3 4, 5 4 … GaAs埋込み保護層、
- 3 5, 5 5 … GaAsキャップ層、
- 3 6, 5 6 … n側電極、
- 3 7, 5 7 … p側電極、
- 4 3 a … AlGaAs下部第2クラッド層、
- 4 3 b … AlGaAs下部第1クラッド層、
- 4 4 a … AlGaAs下部第2ガイド層、
- 4 4 b … AlGaAs下部第1ガイド層、
- 4 6 … InGaAsPバリア層、
- 4 8 a … AlGaAs上部第1ガイド層、

4 8 b … AlGaAs上部第2ガイド層、
6 1 … 光ディスク、
6 2 … 半導体レーザ装置、
6 3 … コリメートレンズ、
6 4 … ビームスプリッタ、
6 5 … $\lambda/4$ 偏光板、
6 6 … レーザ光照射用対物レンズ、
6 7 … 再生光用対物レンズ、
6 8 … 信号検出用受光素子、
6 9 … 信号光再生回路。

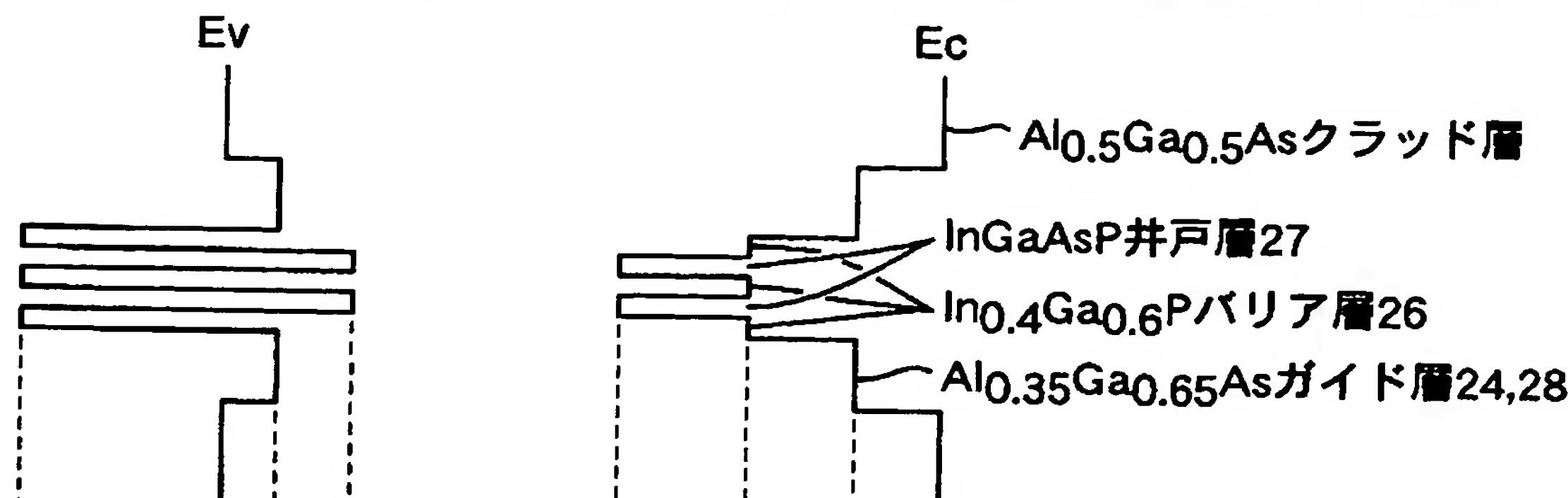
【書類名】 図面

【図1】

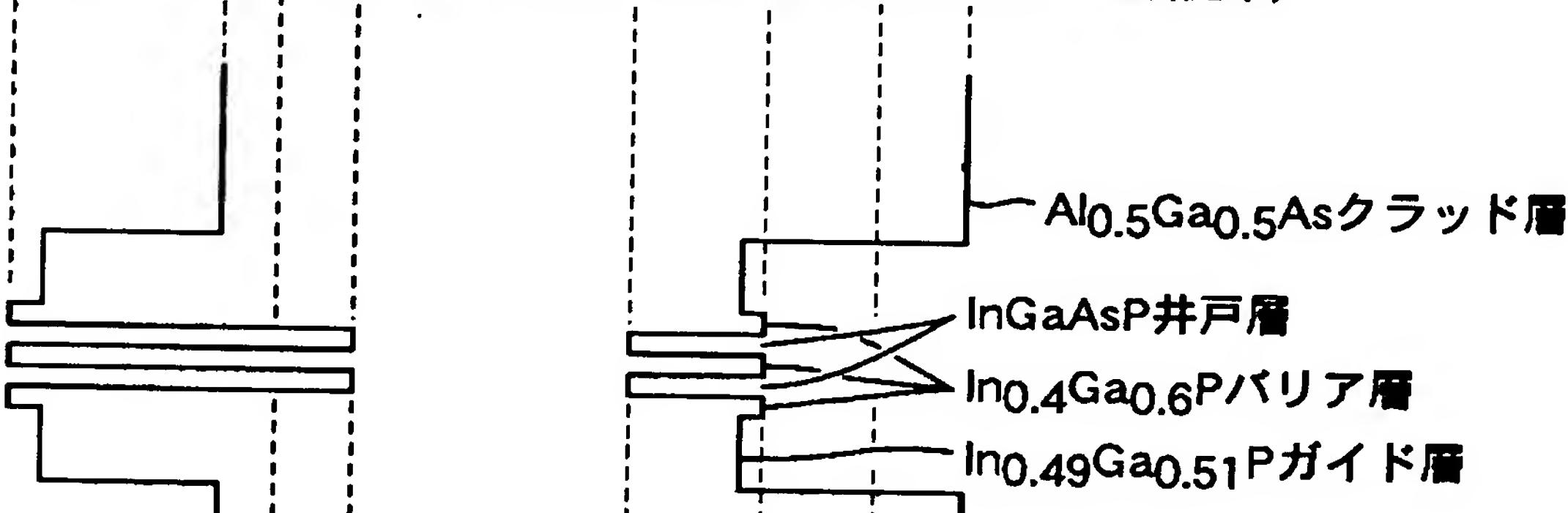


【図2】

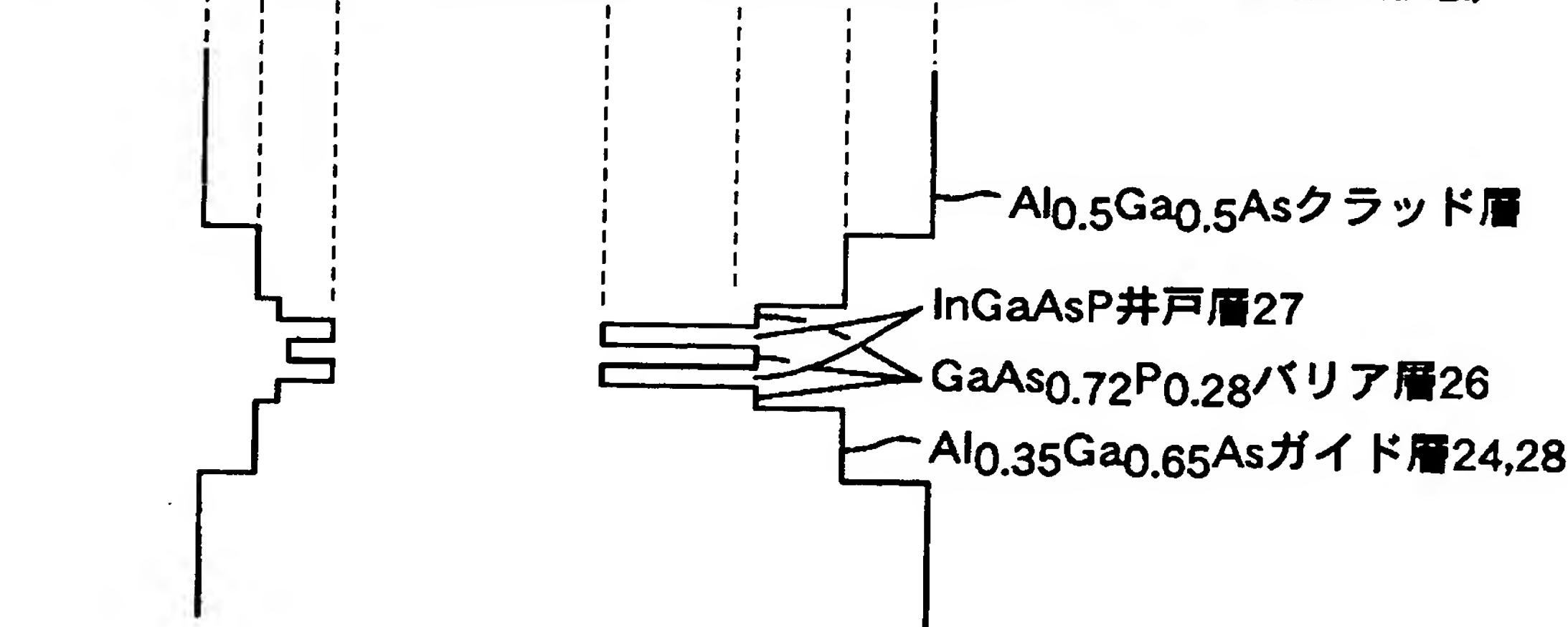
(a) InGaAsP井戸層/InGaPバリア層/AlGaAsガイド層(第1実施の形態)



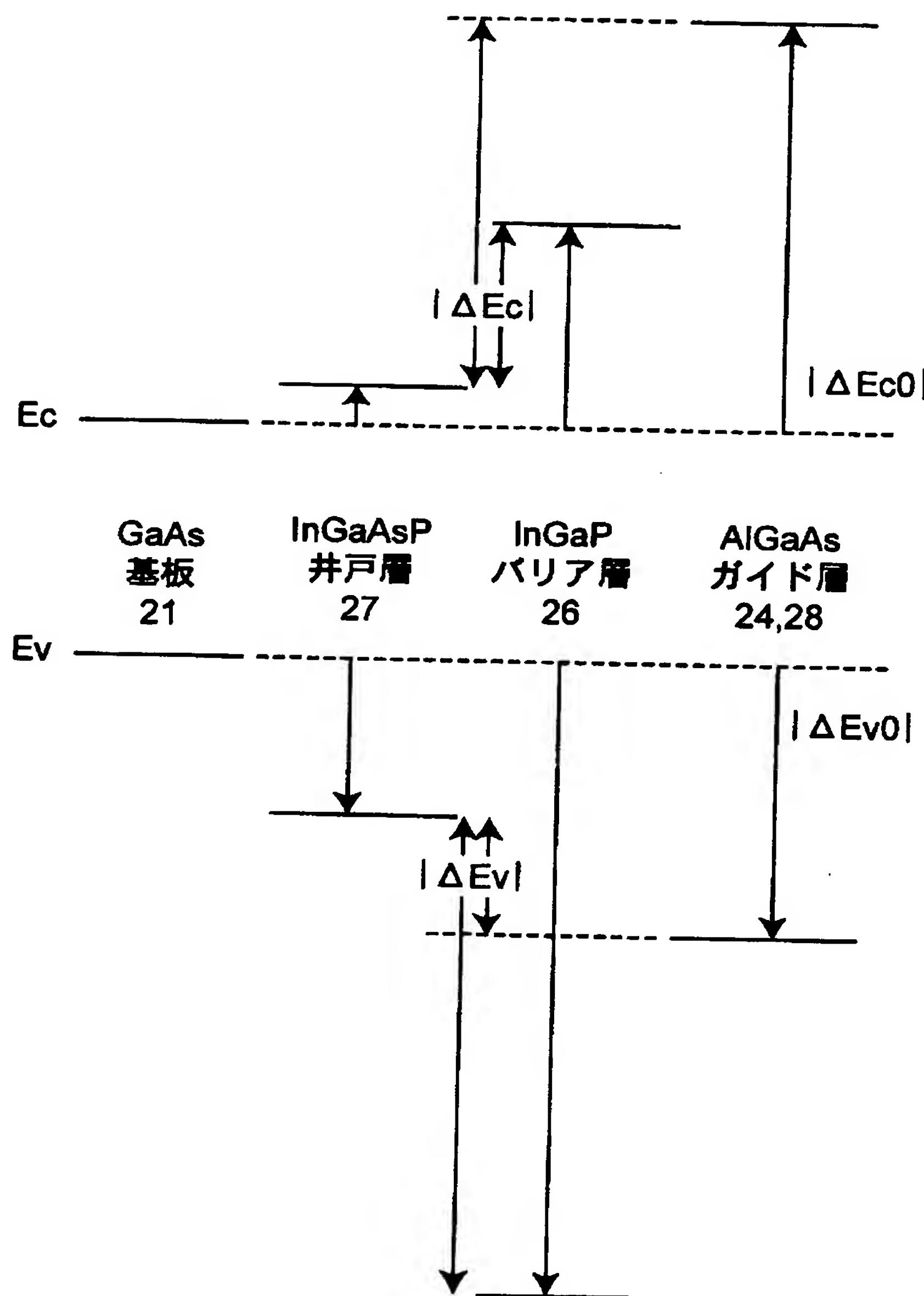
(b) InGaAsP井戸層/InGaPバリア層/InGaPガイド層(従来)



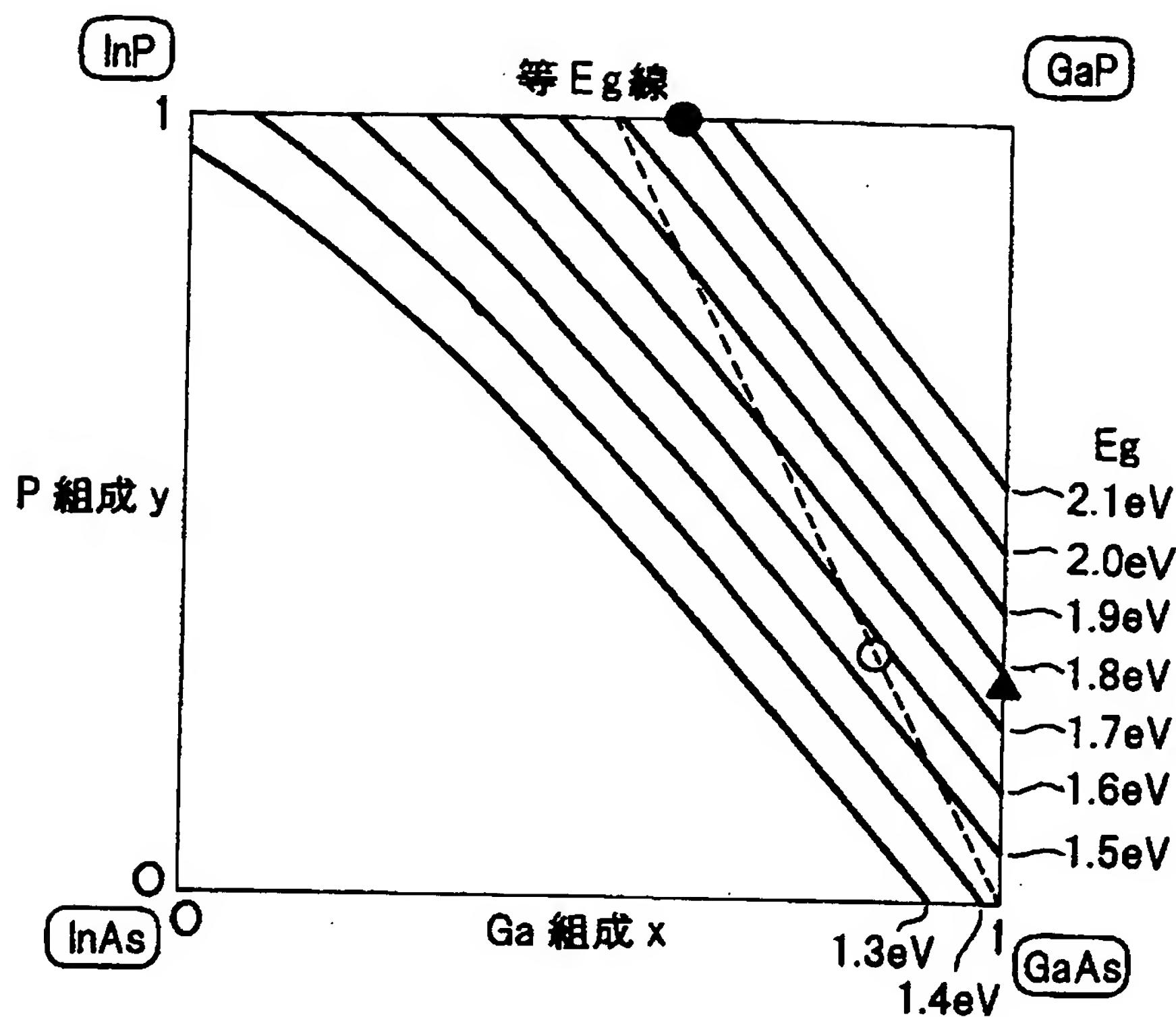
(c) InGaAsP井戸層/GaAsPバリア層/AlGaAsガイド層(第2実施の形態)



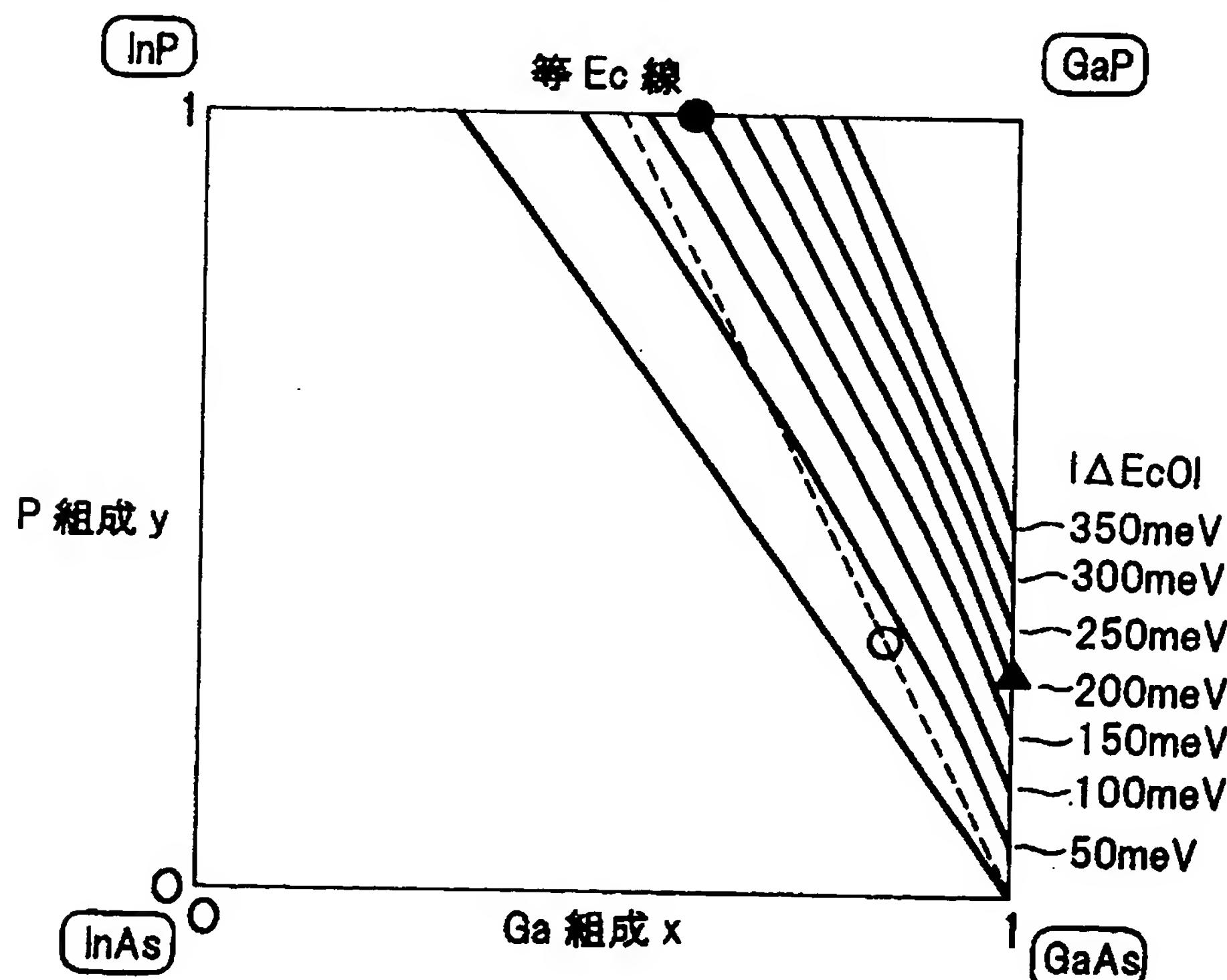
【図3】



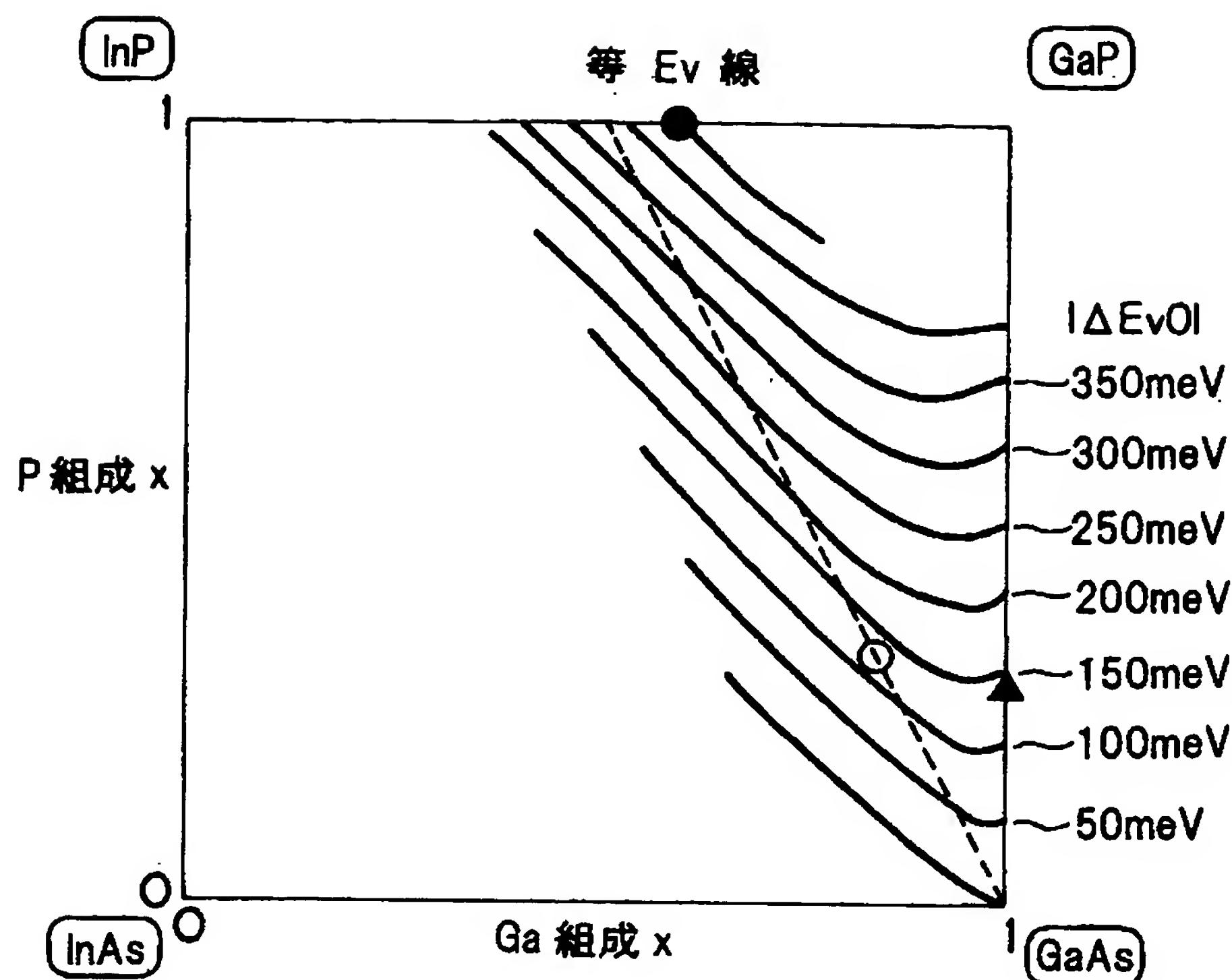
【図4】



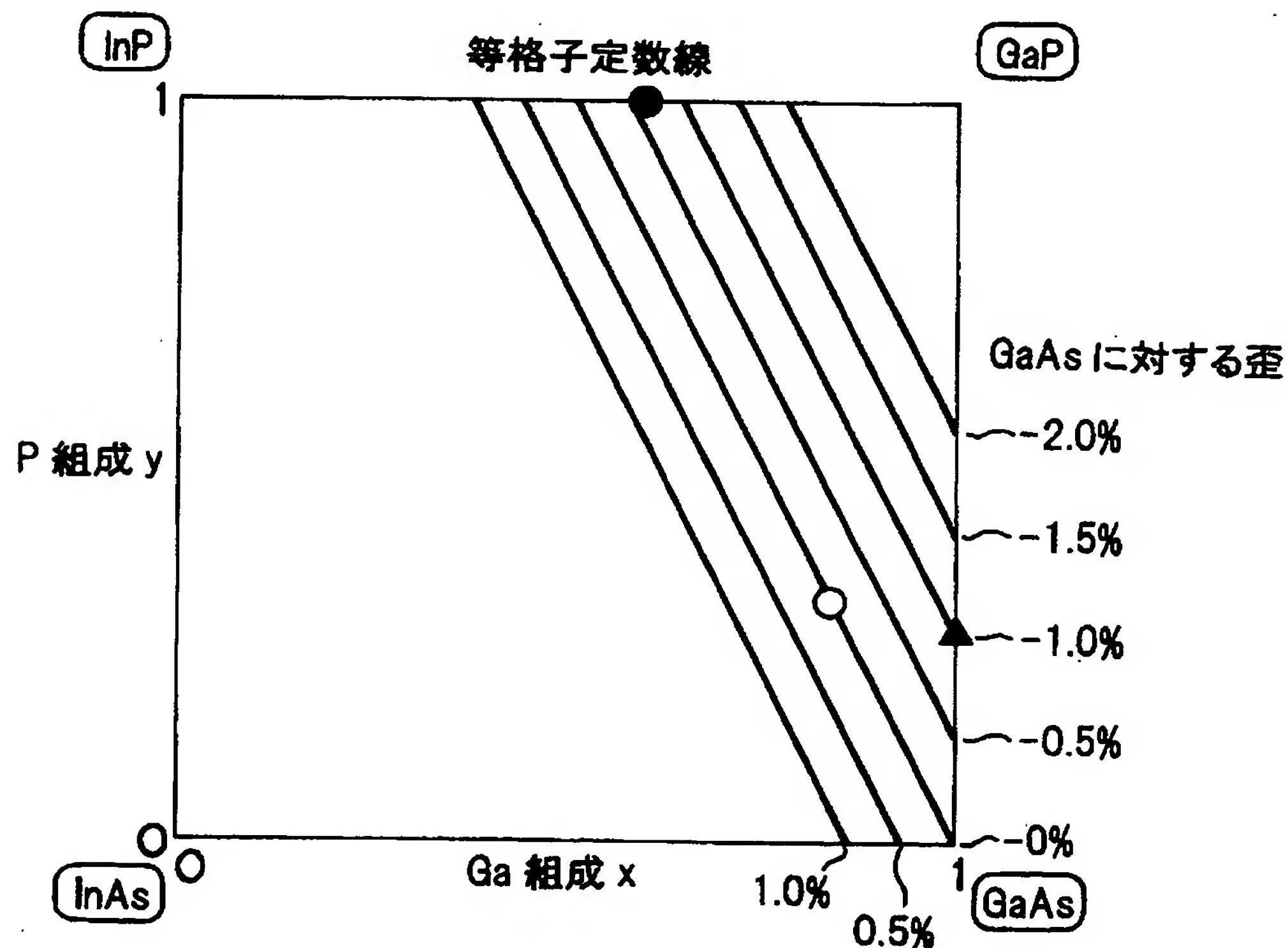
【図5】



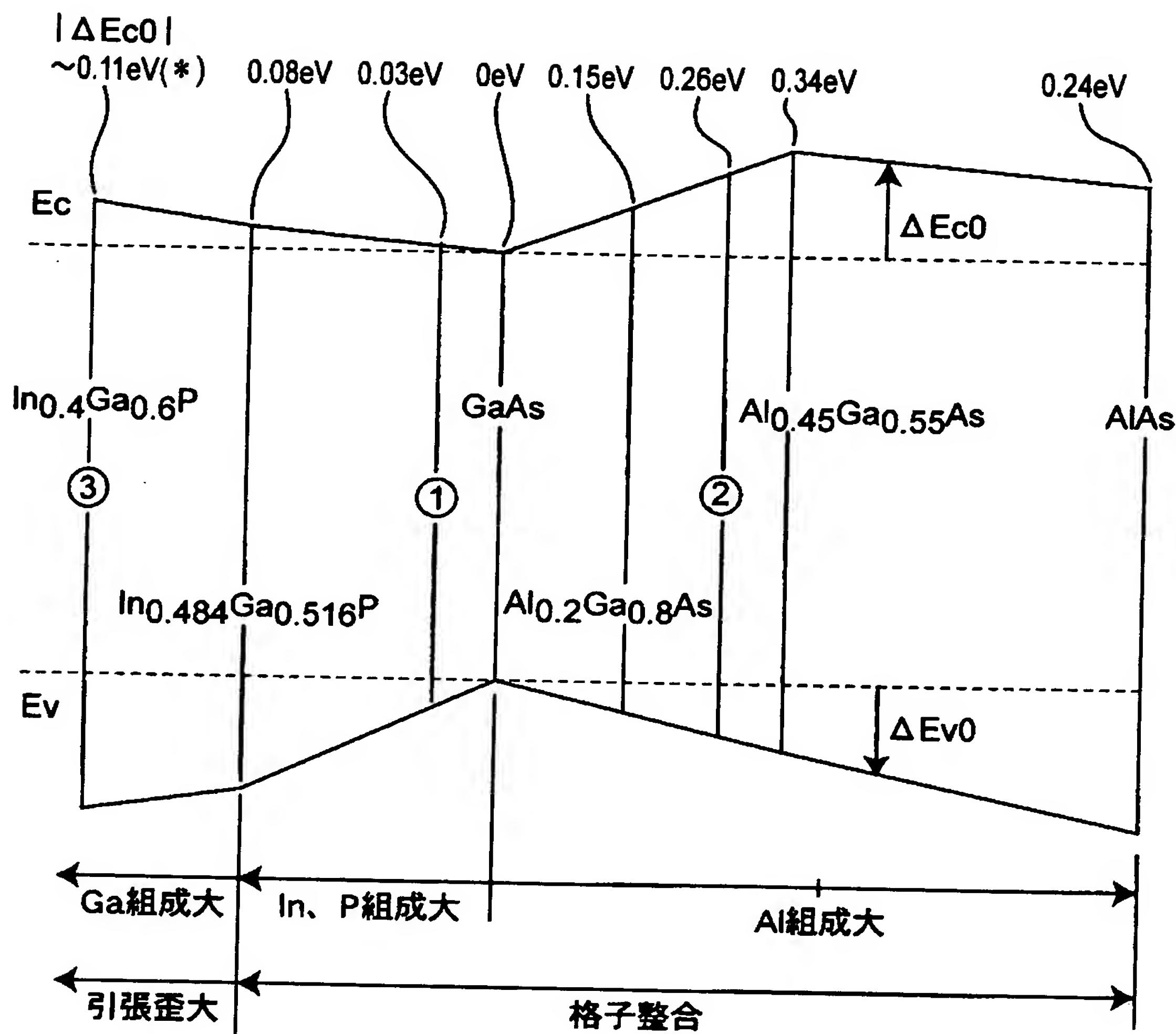
【図6】



【図7】

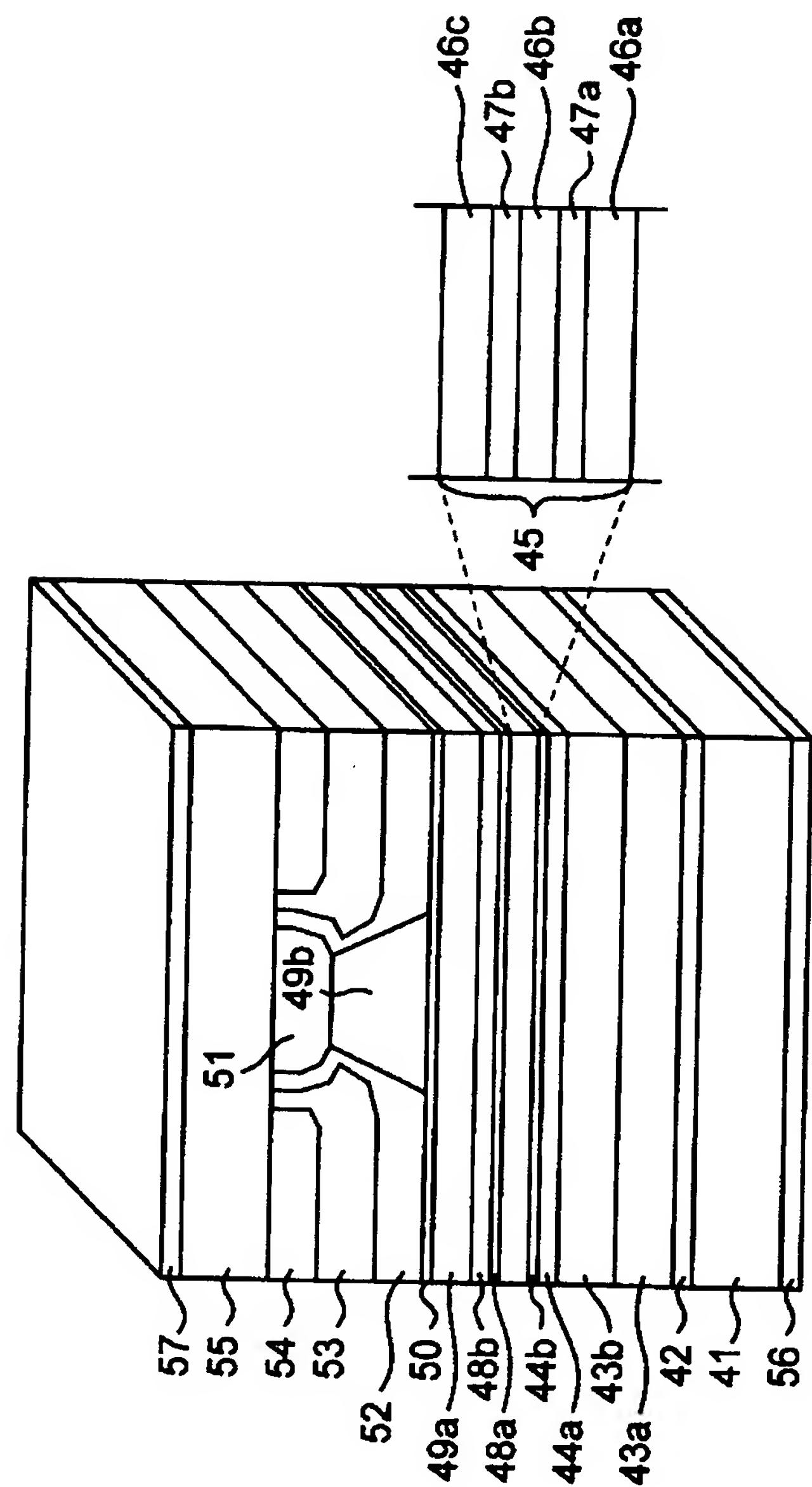


【図8】



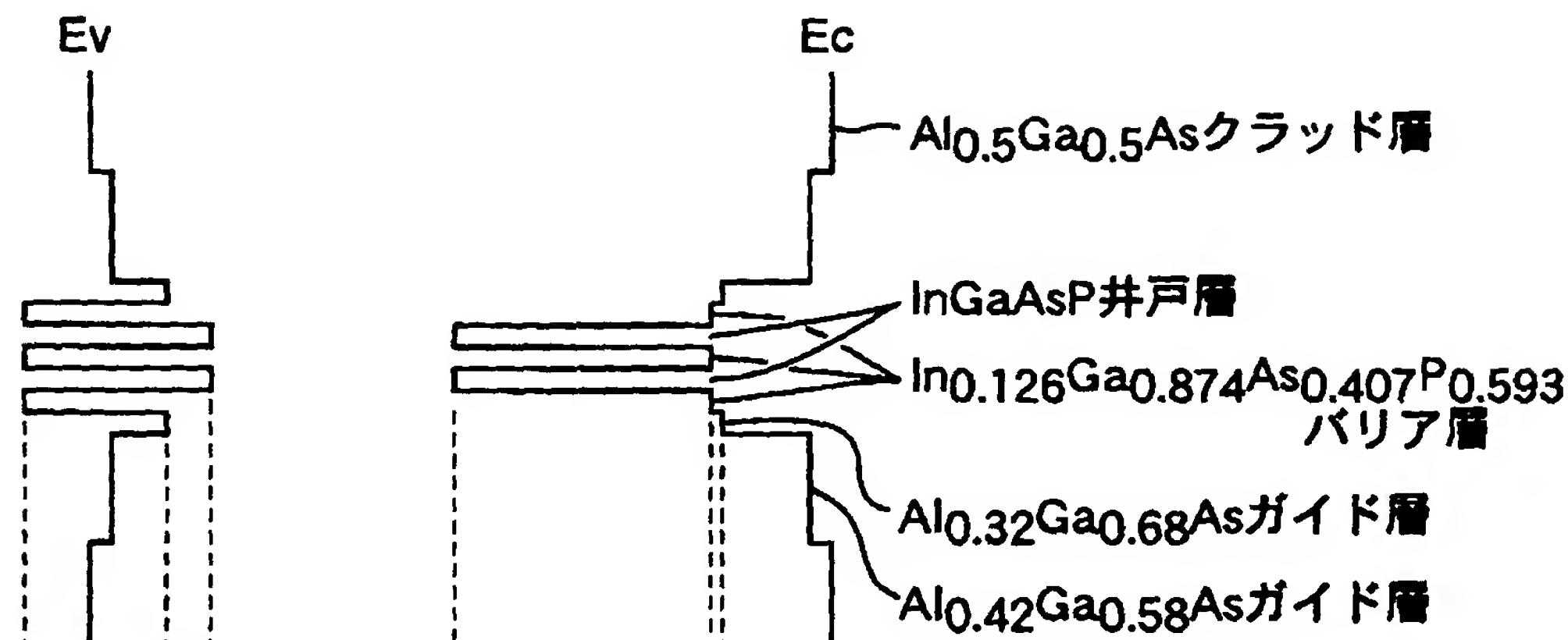
(*)：歪の影響を考慮した推定値

【図9】

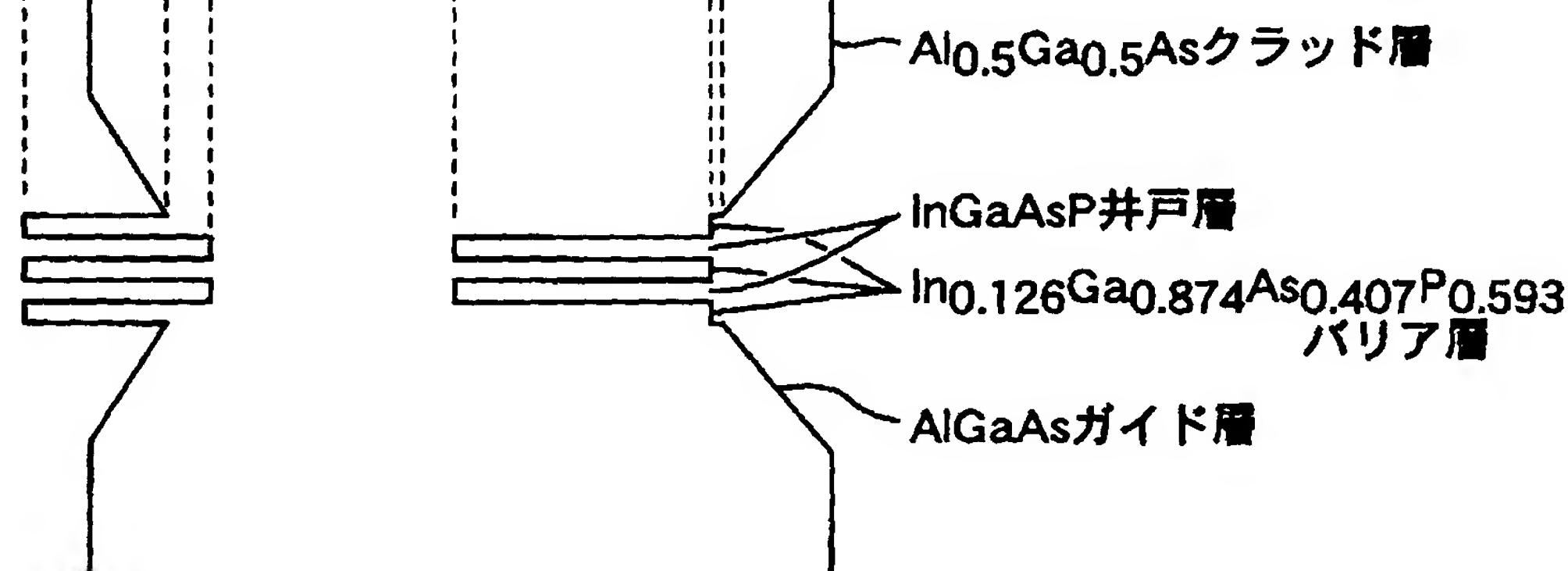


【図10】

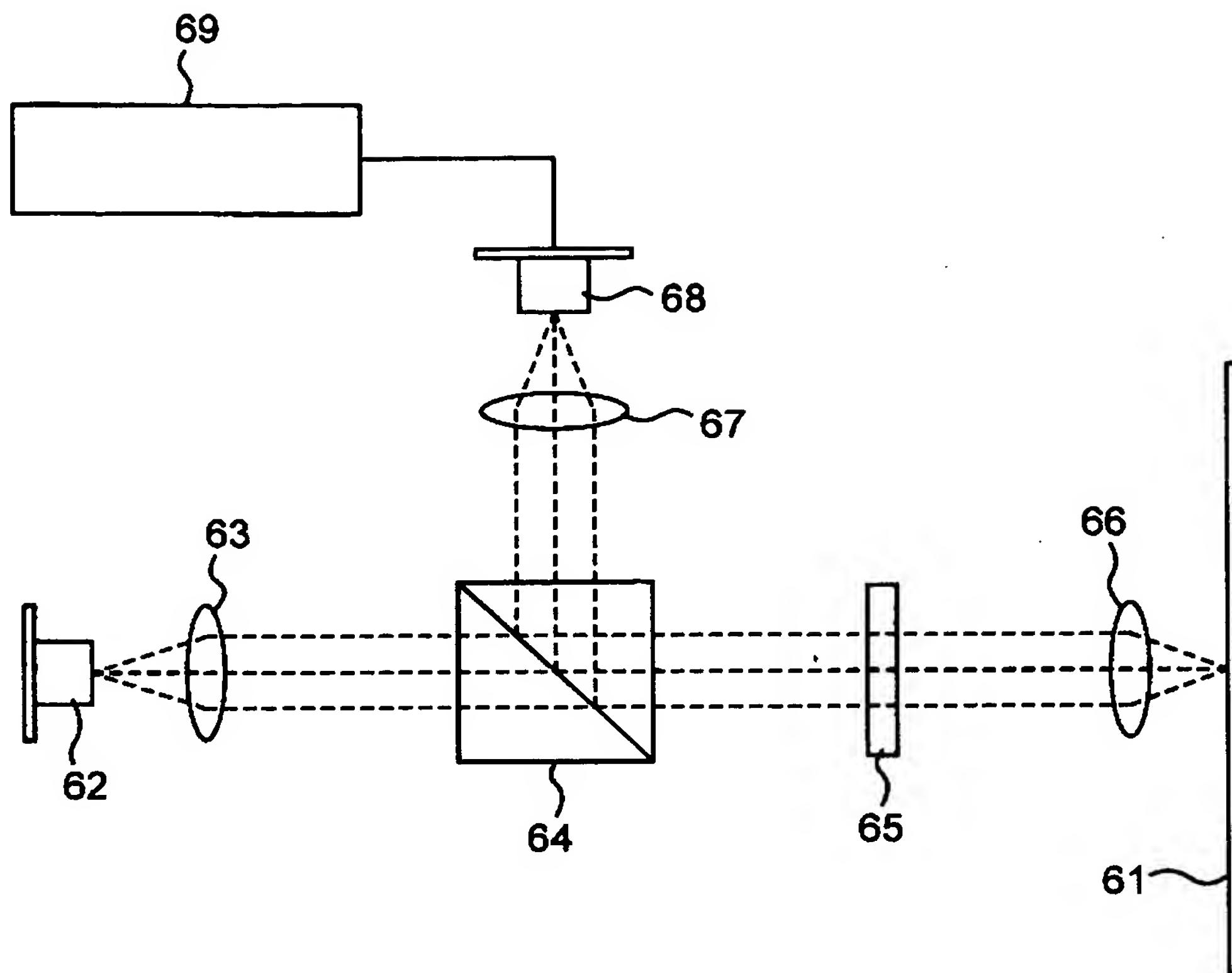
(a)



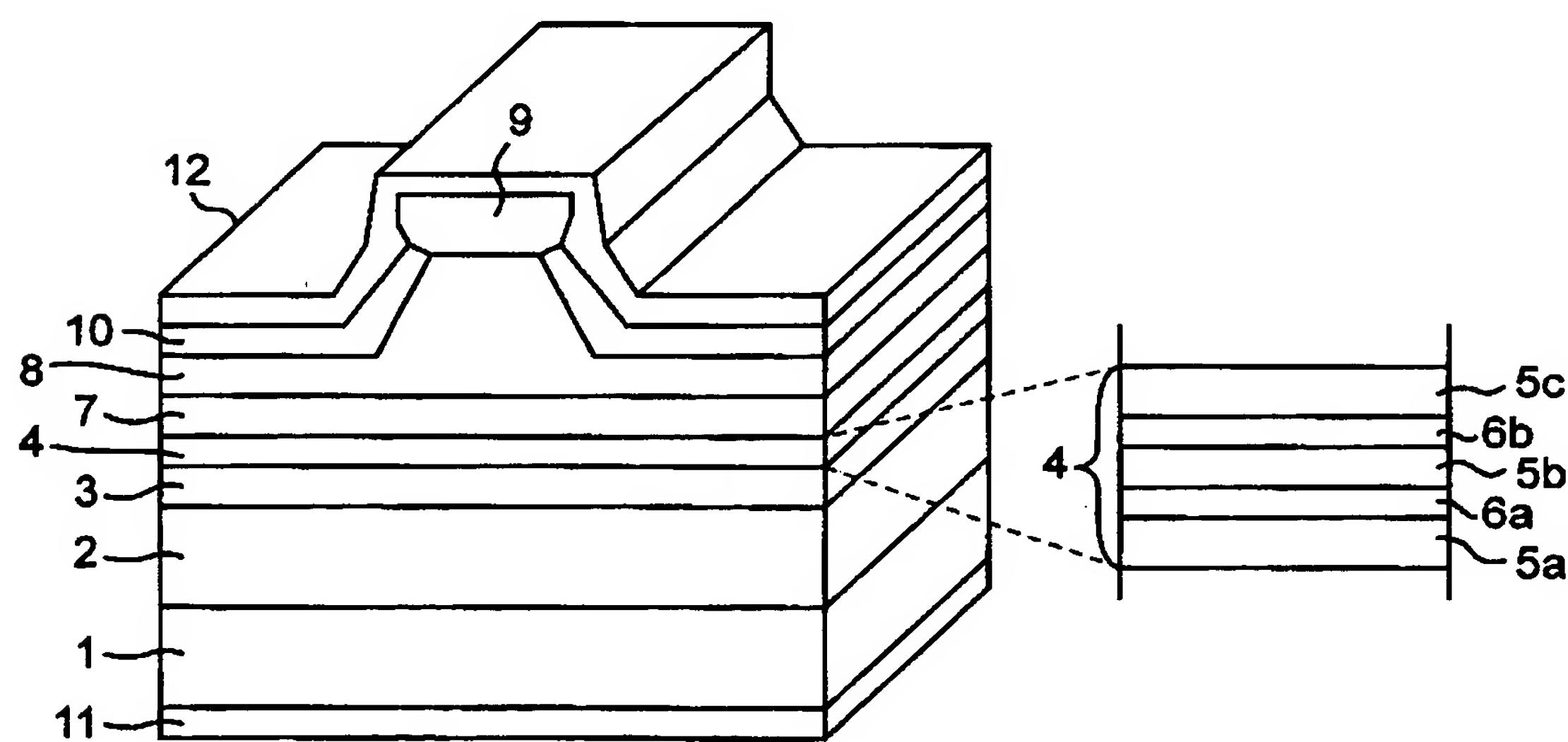
(b)



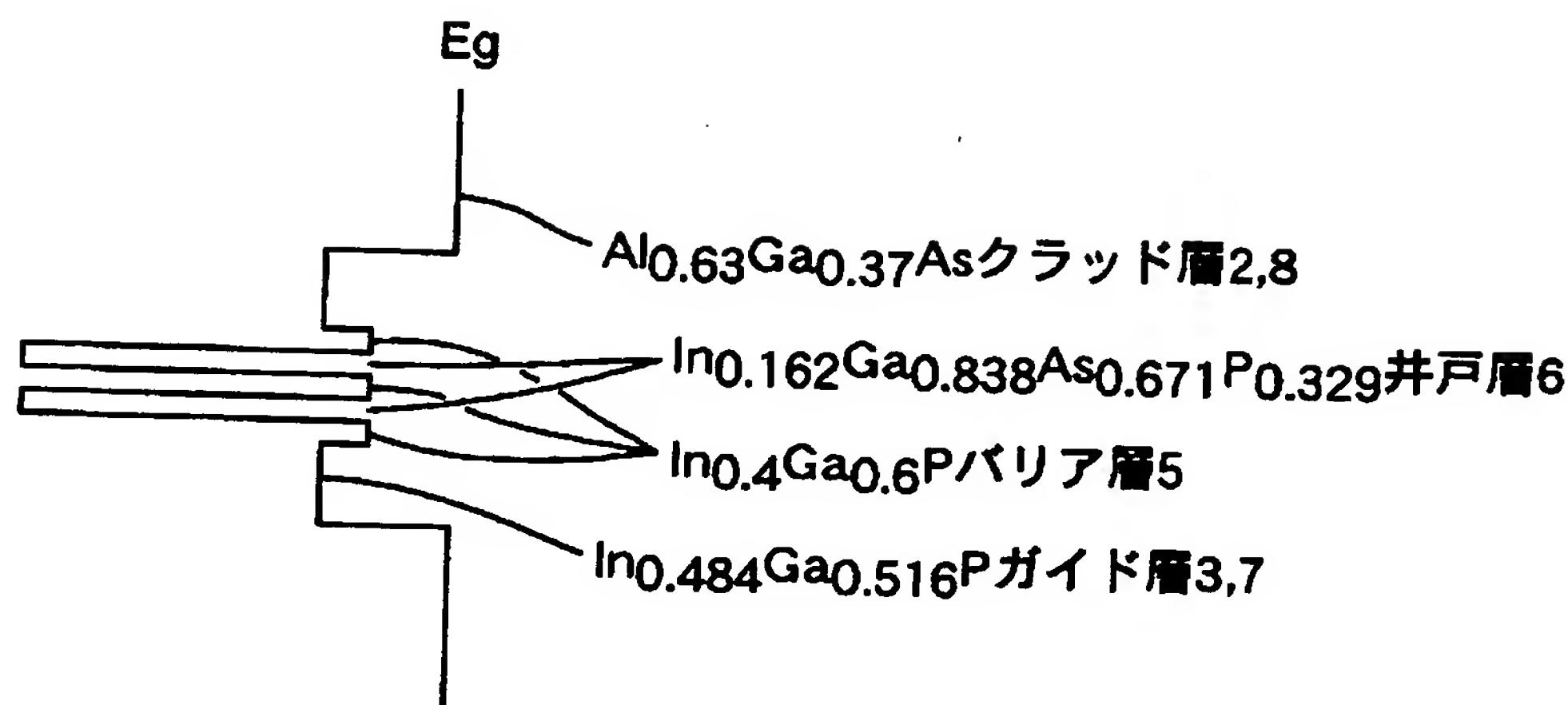
【図11】



【図12】



【図13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Alフリーで且つ ΔE_g の大きさに因らずに特性を向上させる。

【解決手段】 活性領域を InGaP バリア層 26 と GaAs 基板と格子整合した InGaAsP 井戸層 27 との DQW 構造とし、 Al 組成が 0.20 よりも大きい AlGaAs でガイド層 24, 28 を構成する。その結果、ガイド層 24, 28 と井戸層 27 との $|\Delta E_c|$ を 0.12 eV 以上にでき、井戸層 27 からの電子のオーバーフローを抑制することができる。更に、 InGaAsP 井戸層 27 と組み合せることによって、小さな E_g のガイド層 24, 28 で、井戸層 27 とガイド層 24, 28 との $|\Delta E_v|$ を小さいままに $|\Delta E_c|$ を大きくすることが可能になる。すなわち、井戸層 27 へのホール注入のバリアにはならないようにし、且つ、井戸層 27 からの電子のオーバーフローを抑制することができる。

【選択図】 図 3

出願人履歴情報

識別番号 [000005049]

1. 変更年月日 1990年 8月29日
[変更理由] 新規登録
住 所 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
氏 名 シャープ株式会社